ASIMOV'S NEW GUIDE TO SCIENCE

[美]I·阿西莫夫 著

阿西莫夫最新科学指南

（下）



江苏人民出版社

ASIMOV'S NEW GUIDE TO SCIENCE

阿西莫夫最新科学指南

[美] I · 阿西莫夫 著

（下）

江 苏 人 民 出 版 社

书　　名　阿西莫夫最新科学指南(上、下)
著　　者　[美] I·阿西莫夫
译　　者　朱　岚　程席法　等
责任编辑　汪振华　左　衡
出版发行　江苏人民出版社
地　　址　南京中央路165号
邮政编码　210009
经　　销　江苏省新华书店
印 刷 者　通州市印刷总厂
开　　本　850×1168毫米　1/32
印　　张　36.125
字　　数　862千字
版　　次　1999年2月第1版第1次印刷
标准书号　ISBN　7—214—02388—1/G·733
定　　价　48.00(上、下)元
(江苏人民版图书凡印装错误可向承印厂调换)

目　录

第十一章　分　　子

有　机　物

分子(源自拉丁语,意为“小的质量”)一词最初是指物质的基本的、不可分割的单位;从某种意义上说,分子的确是一种基本微粒,因为如不丧失其特性就不能将其再分割。诚然,糖或水的分子可以分成单个的原子或原子团,但这样一来它们就不再是糖和水了。即使是1个氢分子,一旦分解为2个氢原子,也会丧失其特有的化学性质。

正如原子使20世纪的物理学获得了许多令人振奋的发现一样,分子也使化学获得了许多振奋人心的发现。现在,化学家们已经能够描绘出甚至是极其复杂的分子的详细结构图,能够辨别特定分子在活的机体中的作用,能够创造出复杂的新分子,并且能够以令人惊异的精确度预测某种已知结构的分子的性状。

到了20世纪中期,人们业已运用现代化学和物理学所能提供的各种技术,对构成活组织的关键成分——蛋白质和核酸——的复杂分子进行研究。**生物化学**(研究在活组织中进行的化学反应的学科)和**生物物理学**(研究与生命过程有关的物理力和物理现象的学科)这两门科学融为一体,形成了一门崭新的学科——**分子生物学**。由于分子生物学方面的种种研究成果,仅仅经过一代人的努力,现代科学就几乎消除了生命与非生命的界限。

然而，在将近一个半世纪以前，人们却连甚至最简单的分子的结构都搞不清楚。19 世纪早期的化学家们所能做到的，就是把所有的物质划分为两大类。他们早就知道（甚至在炼金术士的时代就已经知道），物质可根据其受热时的反应而分为明显不同的两大类。其中一类，如盐、铅和水，受热后基本保持原样。一经加热，盐会变得灼热，铅会熔化，水会蒸发，但是，当它们冷却到原来的温度时，它们就又恢复到原来的样子。显然，这番经历并没有使它们产生丝毫变化。但是，另一类物质，如糖和橄榄油，一经加热就会发生永久性变化。经加热，糖会变得焦黑，冷却之后依然是焦黑；橄榄油则被蒸发，烟雾虽经冷却也不会凝结成液体。后来，化学家们终于认识到，抗热物质一般来自由空气、海洋和土壤构成的无生物界，而可燃物质通常来自生物界，即或直接来自活物质，或来自生物遗体。1807 年，瑞典化学家贝采利乌斯——他发明了化学符号并着手编制第一个名副其实的原子重量图表（见第六章）——将可燃物质称为**有机物**（因为它们直接或间接地来自活的机体），而将其余的所有物质称为**无机物**。

早期的化学主要是研究无机物。正是对无机气体性状的研究，才导致了原子论的发展。原子论一经建立，人们很快就弄清楚了无机分子的性质。分析结果表明，无机分子一般是由为数不多的不同原子按一定的比例组成的。例如，水分子含有 2 个氢原子和 1 个氧原子；盐分子含有 1 个钠原子和 1 个氯原子；硫酸含有 2 个氢原子、1 个硫原子和 4 个氧原子，等等。

当化学家们开始分析有机物时，情况就似乎大不相同了。两种物质可以具有完全相同的成分，但却显示出截然不同的性质。（例如，乙醇是由 2 个碳原子、1 个氧原子和 6 个氢原子所组成，二甲醚也是如此，但前者在室温条件下是液体，后者却是气体。）有机分子比简单的无机分子含有更多的原子，而且这些原子的结合方

式似乎也令人莫名其妙。简单的化学定律能够非常圆满地解释无机物，但对有机化合物却简直是无能为力。

因此，贝采利乌斯断言，生命化学属于另外一种学科，它遵循自己的一套神秘莫测的规律。他认为，只有活组织才能制造有机化合物。他的这种观点就是**生机论**的范例。

后来，在1828年，贝采利乌斯的学生、德国化学家维勒竟然在实验室里制造出了一种有机物质！当时他正在加热一种叫做氰酸铵的化合物，而当时普遍认为这种物质是无机物。维勒十分惊奇地发现，这种物质在加热过程中变成一种在性质上与**尿素**(尿的一种成分)完全相同的白色物质。按照贝采利乌斯的观点，只有活组织才能形成尿素，然而维勒却由无机物将它制造了出来，而且仅仅是加了一下热。

维勒将这个试验重复做了许多次，最后才敢公布他的发现。贝采利乌斯和其他一些人起初根本不相信这是事实。然而，另外一些化学家却证实了这一结果。不仅如此，他们还陆续由无机原料合成了许多其他的有机化合物。第一位将元素合成有机化合物的是德国化学家科尔贝，他于1845年按这种方式制造出了**醋酸**(使醋产生味道的物质)。正是这项成就才真正地摧毁了贝采利乌斯的生机论。事情变得越来越清楚，适用于无机分子的化学定律，也同样适用于类似的有机分子。最后，人们对有机物和无机物之间的区别下了一个定义：凡是含有碳的物质(个别简单的化合物如二氧化碳例外)统称为有机物；其余的则称为无机物。

化学结构

要研究这门复杂的新化学，化学家们需要有一套表示化合物的简洁符号。幸运的是，贝采利乌斯已经提出了一个简便而合理的符号系统，即各元素都用它的拉丁文名称的缩写来表示。这样，

C 就代表碳,O 就代表氧,H 就代表氢,N 就代表氮,S 就代表硫,P 就代表磷,等等。如果两种元素的名称的第一个字母相同,则再用第二个字母,以资区别,例如:Ca 代表钙,Cl 代表氯,Cd 代表镉,Co 代表钴,Cr 代表铬,等等。仅在少数情况下,拉丁文或拉丁化名称(和首字母)不同于英文,例如:铁用 Fe 表示,银用 Ag 表示,金用 Au 表示,铜用 Cu 表示,锡用 Sn 表示,汞用 Hg 表示,锑用 Sb 表示,钠用 Na 表示,钾用 K 表示。

有了这个符号系统,很容易表示出某种分子的组成。水写作 H_2O(由此表明该分子由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成);盐写作 NaCl;硫酸写作 H_2SO_4,等等。这就是化合物的**经验式**,它能告诉我们该化合物是由什么物质组成的,但却没有说出它的结构,即没有说明分子中的各个原子是以何种方式结合的。

1831 年,维勒的一位合作者李比希进一步研究出一系列有机化学制品的成分,从而将化学分析应用到了有机化学领域。他小心地燃烧少量的有机物,并用适当的化学制品来捕获燃烧时生成的气体(主要是 CO_2 和水蒸气 H_2O)。然后,他称出用于捕获该燃烧产物的化学制品的重量,看它在捕获了燃烧产物之后增加了多少重量。根据这一重量,他就能测定出原有机物的碳、氢和氧的重量。这样,根据各元素的原子量,就很容易计算出原有机物分子中各种原子的数目。例如,他用这种方法确定乙醇的分子式为 C_2H_6O。

李比希的这种方法无法测量出有机化合物中氮的含量。1833 年,法国化学家杜马发明的一种燃烧方法却能收集由物质释放出来的气态氮。1841 年,他用这种方法以空前的精度对大气的成分进行了分析。

有机分析方法变得日益精密,后来,奥地利化学家普列格尔发明的微量分析方法更是精益求精,可算是真正的奇迹。普列格尔

于 1909 年开始研制一项能够精确分析肉眼勉强能看见的微量有机化合物的技术，并因此而获得了 1923 年的诺贝尔化学奖。

令人遗憾的是，仅仅确定有机化合物的分子式对于阐明它们的化学性质并没有多大帮助。同一般仅由两三个、至多也不过十几个原子构成的无机化合物相反，有机分子的原子数目却往往大得惊人。李比希发现，吗啡的分子式是 $C_{17}H_{19}O_3N$，马钱子碱是 $C_{21}H_{22}O_2N_2$。

要研究如此大的分子，或者搞清楚它们的分子式，化学家们无不感到一筹莫展。维勒和李比希试图将原子归并成较小的集合即**原子团**，并试图创立一种理论，以证明不同的化合物是由数目不等、组合方式不同的特定原子团组成的。他们的有些方案是极为巧妙的，但没有一种方案能真正说明问题。尤其难以解释清楚的是，为什么分子式相同的两种化合物，如乙醇和二甲醚，竟会具有不同的性质。

19 世纪 20 年代，李比希和维勒率先使这一问题的解决展现出一道曙光。当时，李比希正在研究一组叫做**雷酸盐**的化合物，维勒则正在研究一组叫做**异氰酸盐**的化合物，结果他们发现，这两组化合物具有完全相同的分子式，也就是说，它们的元素的数目是相同的。当时的化学界权威贝采利乌斯得知这一消息后，竟不相信这一发现。直到 1830 年他本人也发现了一些这样的实例，才不再怀疑。贝采利乌斯把这些元素组成相同但性质各异的化合物命名为**同分异构体**。在那个年代，有机分子的结构的确是一个难解之谜。

19 世纪 50 年代，陷入有机化学这个迷宫中的化学家们开始看到一线光明。他们发现，每种原子都只能同一定数目的其他原子相结合。例如，氢原子显然只能与一个原子结合：它可以形成氯化氢 HCl，但永远形不成 HCl_2。同样，氯和钠各自都只能有一个伙

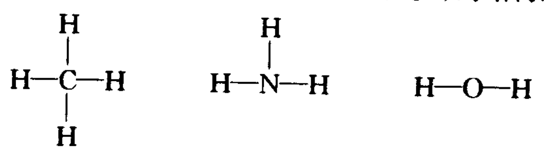
伴，因而它们形成的是 NaCl。可是，一个氧原子却能够同两个原子作伴，如 H_2O。氮能够同 3 个原子结合在一起，如 NH_3(氨)。碳能够同多达 4 个原子结合，如 CCl_4(四氯化碳)。

总之，每种原子好像都有一定数目的钩子来钩住其他原子。1852 年，英国化学家弗兰克兰首次清楚地阐述了这一理论，他将这些钩子称为**价**键(为一拉丁词，意思为“力”)，用于表示各种元素的结合能力。

德国化学家凯库勒发现，如果假定碳的价键是 4，并假定碳原子能够利用这些价键(至少是部分价键)彼此相连成链，那么就可以走出有机化学这个迷宫，绘制出分子的结构图。苏格兰化学家库珀提议将原子间的这种结合力(通常称之为键)画成短线的形状，从而使凯库勒的描述方法变得更加直观。这样有机分子就可以建立起犹如“结构玩具”①所组成的许许多多的结构。

1861 年，凯库勒编著的一本教科书问世，其中就有许多这样的图例，证明既方便又实用。从此，结构式就成了有机化学家的印记。

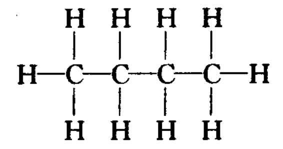
例如，甲烷(CH_4)、氨(NH_3)和水(H_2O)的结构式可分别写做：



有机分子可以用两侧各连接若干个氢原子的碳链来表示。例如，丁烷(C_4H_{10})具有如下结构：

---

① 一套各种形状的零件，儿童可用螺栓等自由地组合成车辆、房子等结构。——译注



以甲醇(CH_4O)和甲胺(CH_5N)为例，氧和氮可以以如下方式进入碳链中：



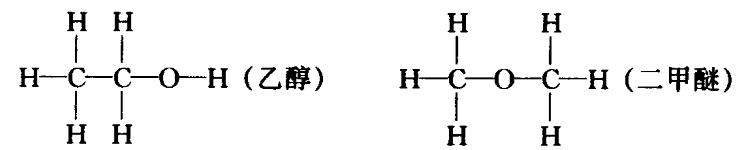
有些原子不止拥有1个钩子，如碳原子有4个钩子，每一个钩子不一定都要与1个不同的原子相连；它还可以同相邻的原子形成双键或三键，例如，在乙烯(C_2H_4)和乙炔(C_2H_2)中：

H—C≡C—H (乙炔)

H—C=C—H (乙烯)

现在很容易明白，为什么两种分子所含的各种元素的原子数目可以完全相同，而二者的性质却不相同。这两种同分异构体必定具有不同的原子排列方式。

例如，乙醇和二甲醚的结构式可分别写做：



分子中的原子越多，可能的排列方式就越多，同分异构体也就越多，例如，庚烷分子是由7个碳原子和16个氢原子组成的，它可以有9种不同的排列方式，换句话说，可能有9种不同的、各具特性的庚烷。这9种同分异构体彼此十分相像，但仅仅是种族上的相像而已。化学家们已制出所有这9种物质，但从未发现第10

种。这是支持凯库勒系统的一个很好的证据。

一种含有40个碳原子和82个氢原子的化合物约有62.5×10^{12}种可能的排列方式或同样数目的同分异构体。而这样大的有机分子并不罕见。

只有碳原子能够互相连接形成很长的链,其他原子若能形成含有五六个原子的链就算不错了。因此,无机分子一般都很简单,也很少有同分异构体。有机分子的高度复杂性使之出现众多的同分异构现象,目前已知的有机化合物已达数百万种,而且每天都有新的化合物形成,还有不计其数的化合物有待人们去发现。

现在,人们普遍应用结构式作为探索有机分子性质的必不可少的向导。作为一种捷径,化学家们常常以构成分子的原子团或基,如甲基(CH_3)和亚甲基(CH_2),来书写分子的结构式。因此,丁烷的结构式可以简写成$CH_3CH_2CH_2CH_3$。

结构的细节

19世纪后半叶,化学家们发现了一种特别奇妙的同分异构现象,后来证明,这种现象在生命化学中是极其重要的。这一发现是,某些有机化合物对通过它们的光束具有一种奇异的不对称效应。

旋光性

从普通光束的一个截面可以看出,构成该光束的无数波在所有平面呈上下、左右和斜向振动。这类光称为**非偏振光**。但是,当光束通过透明物质的晶体(如冰洲石)时,就会发生折射,使出射光

变成**偏振光**。这仿佛是该晶体的原子点阵只允许某些波动面通过(就像栅栏只允许行人侧身挤过,但却不能让人大摇大摆地正面穿过一样)。有些装置,如苏格兰物理学家尼科耳于1829年发明的**尼科耳棱镜**,只允许光在一个平面通过(图11-1)。目前,这种棱镜在大多数场合已由其他材料,如偏振片(一组镶在硝化纤维中的、晶轴平行排列的硫酸奎宁与碘的复合物晶体)所代替。第一个偏振片是兰德于1932年制作的。

正如法国物理学家马吕于1808年所首先发现的那样,反射光往往是部分平面偏振光(他利用牛顿关于光粒子极点的论点——这一点牛顿错了,但这个名字却沿用至今——创立了偏振这一术语)。因此,配戴偏振片太阳镜,可以使从建筑物和汽车窗玻璃甚至从公路路面反射到眼睛的强烈阳光减弱到柔和的程度。

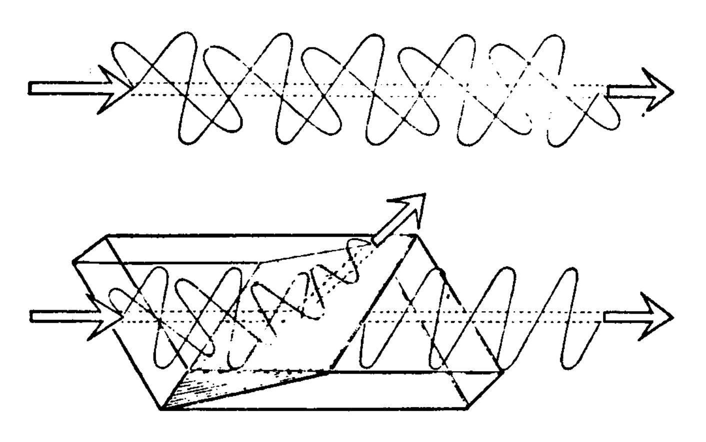


图11-1　光的偏振。光波正常情况下在所有平面振动(上图)。尼科耳棱镜(下图)只允许在一个平面内振动的光通过,其余的光都被反射掉。因此,透射光为平面偏振光

1815年,法国物理学家毕奥发现,当平面偏振光通过石英晶体时,偏振面会转动。也就是说,光以波浪形进入一个平面,而以

波浪形从另一个平面射出。具有这种作用的物质就叫做**旋光性**物质。有些石英晶体能使振动平面按顺时针方向转动(**右旋**),而有些石英晶体能使其按逆时针方向转动(**左旋**)。毕奥还发现,有些有机化合物,例如樟脑和酒石酸,也具有同样的作用。他认为,光束转动的原因,很可能是由分子中原子排列的某种不对称性造成的。但是,在以后的几十年间,这种见解依然只是一种纯理论的推测。

1844年,巴斯德(当时他只有22岁)被这个有趣的问题给迷住了。他研究了两种物质:酒石酸和外消旋酸。二者虽然具有相同的化学成分,但酒石酸能使偏振光的振动平面转动,而外消旋酸却不能。巴斯德猜想,或许能够证明,酒石酸盐的晶体是不对称的,而外消旋酸盐的晶体是对称的。出乎他的意料,通过在显微镜下观察这两组盐的晶体,他却发现二者都是不对称的。不过,外消旋酸盐晶体具有两种形式的不对称性:一半晶体与酒石酸盐晶体的形状相同,而另一半则为镜像。也就是说,外消旋酸盐的晶体,有一半是左旋的,一半是右旋的。

巴斯德煞费苦心地将左旋的和右旋的外消旋酸盐晶体分开,然后分别制成溶液,并让光束通过每一种溶液。果然,与酒石酸晶体有着相同不对称性的晶体,其溶液像酒石酸盐那样使偏振光的振动面发生转动,而转动角度也相同。这些晶体就是酒石酸盐。另一组晶体的溶液则使偏振光的振动面向相反方向转动,转动角度相同。由此可见,原外消旋酸盐之所以没有显示出旋光性,是因为这两种对立的倾向互相抵消了。

接着,巴斯德又在这两种溶液中加入氢离子,使这两类外消旋酸盐再变为外消旋酸。(顺便说一句,盐是酸分子中1个或数个氢离子被钾或钠这类带正电的离子取代后生成的化合物)。他发现,这两类外消旋酸都具有旋光性,其中一类使偏振光转动的方向与

酒石酸相同(因为它就是酒石酸),而另一类使偏振光转动的方向则与之相反。

以后又发现了许多对这样的镜像化合物即**对映体**(源于希腊语,意为“相反的形状”)。1863年,德国化学家维斯利采努斯发现,乳酸(酸牛奶中的酸)能形成这样的化合物。他进一步证明,除了对偏振光所产生的作用不同外,这两种乳酸的其他性质完全一样。后来证实,这一点对于各种镜像化合物是普遍成立的。

到这时为止,事情都还算顺利。但是,不对称性是如何产生的呢?又是什么东西使两种分子彼此互为镜像的呢?巴斯德未能回答这些问题。提出存在分子不对称性的毕奥,尽管活到88岁的高龄,生前也未能看到他凭直觉得出的结论被证明是正确的。

直到1874年,即毕奥死后的第12年,才最后找到答案。两位年轻的化学家——一位是名叫范托夫的22岁的荷兰人,另一位是名叫勒贝尔的27岁的法国人——各自独立地提出了关于碳的价键的新理论,从而解答了镜像分子的构成问题。(自此以后,范托夫毕生从事溶液中的物质性状的研究,并证明了支配液体性状的定律类似于支配气体性状的定律。由于这项成就,他于1901年成为第一个获得诺贝尔化学奖的人。)

凯库勒把碳原子的4个价键统统画在同一个平面内,这并不一定是因为碳键确实是这样排列的,而只是因为把它们画在一张平展的纸上比较简便而已。范托夫和勒贝尔则提出了一个三维模型。在这个模型中,他们将4个价键分配在两个互相垂直的平面内,每个平面各有两个价键。描绘这一模型的最好办法,是设想4个价键中的任意3个价键作为腿支撑着碳原子,而第4个价键则指向正上方。如果假定碳原子位于正四面体(4个面都是正三角形的几何图形)的中心,那么,这4个价键就指向该正四面体的4个顶点。因此,这个模型被称之为**碳原子的正四面体模型**(图11-2)。

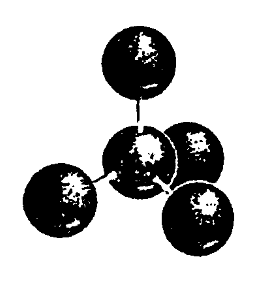


图 11-2 碳原子的正四面体模型

现在让我们把 2 个氢原子、1 个氯原子和 1 个溴原子连接在这 4 个价键上。不论我们把哪个原子与哪个价键连接,总是得到同样的排列。读者不妨亲自动手试试看。首先,将 4 根牙签以适当的角度插入一块软糖(代表碳原子)中,这样就有了 4 个价键,然后将 2 颗黑橄榄(代表氢原子)、1 颗绿橄榄(代表氯原子)和 1 颗樱桃(代表溴原子)任意插在牙签的另一端。如果你让这个结构的 3 条腿站立在桌面上,而上方所指的是一颗黑橄榄,那么,3 条腿上的东西按顺时针方向依次是黑橄榄、绿橄榄和樱桃。现在你可以将绿橄榄和樱桃的位置交换一下,那么顺序就变为黑橄榄、樱桃和绿橄榄了。如果你想恢复到原来的顺序,你只需将这个结构翻转一下,即使原来作腿的那颗黑橄榄指向空中,而使原来指向空中的黑橄榄立于桌面。这样,3 条腿的顺序就又是黑橄榄、绿橄榄和樱桃了。

换句话说,如果同碳原子的 4 个价键连接的 4 个原子(或原子团)中至少有两个是完全相同的话,那么,就只能有一种排列方式。(显然,若所连接的原子或原子团有 3 个或所有 4 个都是相同的,当然也是这种情形。)

然而,当连接在碳键上的 4 个原子(或原子团)都不相同时,情况就会发生变化。这时就能够有两种不同的排列方式——一个是另一个的镜像。例如,如果你在朝上的腿上插一颗樱桃,在 3 条立

着的腿上分别插上黑橄榄、绿橄榄和洋葱片。如果你将黑橄榄和绿橄榄调换一下位置，那么按顺时针方向的顺序则依次为绿橄榄、黑橄榄和洋葱片。在这种情形下，无论怎样旋转这个结构，都不能使恢复到调换前的顺序，即黑橄榄、绿橄榄和洋葱片。可见，当碳键所连接的 4 个原子(或原子团)都不相同时，总是得到两种不同的、互为镜像的结构。读者不妨试试看。

范托夫和勒贝尔就这样揭开了旋光性物质不对称性的秘密。原来使光向相反方向转动的镜像物质的碳原子，其价键连接着 4 个不同的原子或原子团。这 4 个原子或原子团有两种可能的排列方式，一种使偏振光右旋，另一种使偏振光左旋。

越来越多的证据有力地支持了范托夫和勒贝尔的碳原子正四面体模型。到 1885 年，他们的理论已得到普遍承认(这要部分归功于维斯利采努斯的热情支持)。

三维结构的概念还被应用于碳原子以外的其他原子。德国化学家迈尔成功地将这一概念应用于氮原子，而英国化学家波普则将其应用于硫、硒和锡原子。德国血统的瑞士化学家韦尔纳将其应用到更多的元素。他还于 19 世纪 90 年代着手创立一种**坐标理论**，即通过认真研究某一中心原子周围的原子和原子团的分布，来解释复杂的无机物的结构。由于这项成就，韦尔纳获得了 1913 年的诺贝尔化学奖。

巴斯德将分离的两种外消旋酸分别命名为 *d* **酒石酸**(**右旋的**)和 *l* **酒石酸**(**左旋的**)，并且为它们写出了镜像结构式。然而，哪一个是真正的右旋化合物，哪一个是左旋化合物，当时尚没有办法分清。

为了向化学家们提供用以区分右旋物质和左旋物质的参照物或对比标准，德国化学家 E. 费歇尔选择了食糖的近亲，即称之为**甘油醛**的简单化合物。它是当时研究得最为透彻的旋光性化合物

之一。他任意地将它的一种形态规定为是左旋的，称之为 L **甘油醛**，而将它的镜像化合物规定为是右旋的，称之为 D **甘油醛**。他将这两种甘油醛的结构式分别写作：

$$\begin{array}{c} CHO \\ | \\ H—C—OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{c} CHO \\ | \\ HO—C—H \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

D 甘油醛　　　　　　　　L 甘油醛

任何一种化合物，只要能用适当的化学方法证明(这是一项相当细致的工作)它具有与 L 甘油醛类似的结构，那么，不管它对偏振光的作用是左旋的还是右旋的，都被认为属于 L **系列**，并在它的名称前冠以 L。后来发现，过去认为是左旋形态的酒石酸原来属于 D 系列，而不属于 L 系列。现在，凡在结构上属于 D 系列而使光向左转动的化合物，我们就在它的名称前面冠以 D(−)；同样，有些化合物则要冠以 D(+)、L(+)和 L(−)。

现在看来，潜心研究旋光性的细节具有重要意义，决不是在好奇心的驱使下所做的徒劳无益的工作。说来也巧，活机体中几乎所有的化合物都含有不对称的碳原子。而且，活机体总是只利用化合物的两种镜像形态中的一种。另外，类似的化合物一般属于同一种系列。例如，在活组织中发现的所有单糖实际上都属于 D 系列，而所有的氨基酸(组成蛋白质的基本单位)属于 L 系列。

1955 年，荷兰化学家比杰沃特终于确定了什么样的结构会使偏振光左旋，什么样的结构会使偏振光右旋。人们这才知道，在左旋形态和右旋形态的命名上，E. 费歇尔只不过是碰巧猜对了而已。

苯环自相矛盾的现象

在凯库勒的结构式系统牢固建立之后的若干年内，人们仍然

写不出一种分子相当简单的化合物的结构式。这种化合物就是苯(它是法拉第1825年发现的)。化学分析结果表明,它是由6个碳原子和6个氢原子组成的。那么,多余的碳键哪里去了呢?(以单键彼此相连接的6个碳原子能够结合14个氢原子,我们所熟知的化合物已烷C_6H_{14}的情况就是如此。)显然,苯中的碳原子有些必定是以双键或三键相连的,因此,苯的结构式可能是 $CH \equiv C-CH=CH-CH=CH_2$ 。不过,问题在于,具有这类结构的各种已知化合物的性质却与苯的性质截然不同。另外,所有的化学证据似乎都表明,苯分子是非常对称的,6个碳原子和6个氢原子绝不可能以任何合理的对称方式排列在1条直链上。

1865年,凯库勒自己找到了答案。若干年后,他在谈起发现苯分子结构的经过时说,有一次他坐在公共汽车里昏昏欲睡。在他似睡非睡之中,碳原子的链似乎都活了起来,在他眼前翩翩起舞……突然,1条碳链像蛇一样地盘成一圈。凯库勒猛然从昏睡中惊醒,不觉喊道:“我找到了!”[1]他的答案是:苯分子是1个环。

凯库勒提出,苯分子中的6个碳原子是按如下方式排列的:

```
        H
        |
        C
 H    //  \    H
   \ //    \  /
    C        C
    |        ‖
    C        C
   / \\    /  \
 H     \\ /    H
        C
        |
        H
```

① “我找到了!”相传是阿基米得在澡盆里发现浮力定律时喊过的一句话。这句话也是美国加利福尼亚州的一句名言,比喻在那里发现了金矿。——译注

这个式子终于满足了所要求的对称性。首先，它说明了为什么用另 1 个原子取代苯的任何 1 个氢原子时总是生成同一种产物。因为环中的各个碳原子从结构上彼此是无法区分开的，所以无论取代环中的哪个氢原子，都只会得到相同的产物。其次，环状结构表明，取代环中两个氢原子的方式只有 3 种：取代环中两个相邻碳原子的氢原子；取代两个相间的碳原子上的氢原子；取代两个相对的碳原子上的氢原子。后来发现，果然只能制出 3 种二取代苯的同分异构体。

然而，凯库勒所设计的这幅苯分子蓝图却带来了一个难以解决的问题。一般说来，具有双键的化合物要比仅有单键的化合物活泼，或者说，更不稳定。过剩的碳键似乎随时准备摆脱碳原子的束缚，而去同新的原子或原子团相结合。因此，很容易给双键化合物添加上氢原子或其他原子，甚至能毫不困难地使它们断裂。但苯却极其稳定，甚至比仅有单键的碳链还要稳定。（事实上，苯环在有机物中是如此稳定和普遍，致使含有苯环的分子构成了整整一个大类，这就是**芳香族**化合物，而其余的有机物则总称为**脂肪族**化合物。）苯分子既不能再添加氢原子，又难于断裂。

对于苯分子中的双键所具有的这种奇怪的稳定性，19 世纪的化学家无法做出解释，并为此大伤脑筋。这一点看起来微不足道，然而，整个凯库勒结构式系统却因为苯分子不肯就范而陷入窘境。由于这一系统未能解释这一明显的自相矛盾的现象，其余的一切也就变得捉摸不定了。

在 20 世纪以前，德国化学家悌勒的解释最接近于正确答案。他于 1899 年提出，当双键与单键相间排列时，1 对双键的相邻两端由于某种缘故而彼此中和，并抵消了彼此的活动性。作为一个例子，让我们来看看**丁二烯**。丁二烯形状最为简单，仅具有被 1 个单键隔开的两个双键（**共轭双键**）。如果想在它上面添加两个原

子，那就只能如下式所示，添加在位于两端的碳原子上。这种观点认为，由于苯的 3 个双键位于同一个环上，因此彼此就完全中和了，因而解释了苯的稳定性。

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$$

此处可添加原子

大约在 40 年之后，根据新的化学键理论找到了更好的答案。这种新理论将原子看作是由共享电子连接的。

凯库勒曾将化学键画作两个原子之间的 1 条短线，而现在则被看成是 1 对共享电子(见第六章)。当 1 个原子同 1 伙伴结合时，这个原子就与这个伙伴共享它的 1 个电子，而这个伙伴也向价键捐献出 1 个电子作为回报。碳原子的外壳层有 4 个电子，因而能结合 4 个原子或原子团；氢原子能向价键赠送 1 个电子，因而能结合 1 个其他的原子，等等。

这就产生了一个问题：电子是怎样被共享的呢？两个碳原子显然是均等地共享它们的电子对的，因为它们对电子的吸力相等。另外，在像 H_2O 这样的化合物中，氧原子对电子的吸力比氢原子大，因此，氧原子在与氢原子共享电子对时占得就多一些。这意味着，氧原子由于电子占得多一些而带有稍微过剩的负电荷，氢原子由于电子占得少一些而带有稍微过剩的正电荷。1 个含有氢氧对的分子，如水或乙醇，由于分子的某一部分集中了较多的正电荷而在另一部分集中了较多的负电荷，结果便形成了两个电极。这样的分子称为**极性分子**。

有关分子结构的这种观点是荷兰化学家德拜于 1912 年首先提出来的(后来他提出了获得极低温度的磁性方法，见第六章)。他利用电场来测量分子中两电极间的距离。在电场中，极性分子会按正极对负极、负极对正极的方式排列起来，因此就很容易测量

出分子的**偶极距**。到本世纪30年代初期，测量偶极矩已成为一项常规性工作。德拜由于这项成就及其他方面的贡献而获得了1936年的诺贝尔化学奖。

有关分子结构的这个新看法阐明了早期观点所无法解释的一系列现象。例如，它能说明物质沸点的某些反常现象。总的来说，分子量越大，沸点就越高。不过，这条规则常被打破。分子量仅为18的水在100℃时沸腾，而分子量为44(高出水分子量的两倍)的丙烷却在低得多的温度(－42℃)下开始沸腾。为什么会有这种差异？答案是：水是偶极矩很大的极性分子，而丙烷是**非极性**的——它不具有电极。极性分子总是倾向于按正极对负极、负极对正极的方式排列。由于相邻分子之间存在静电引力，要使这些分子彼此分离是很困难的，因此，这样的物质具有较高的沸点。因而，虽然乙醇与它的同分异构体二甲醚具有相同的分子量(46)，但乙醇的沸点(78℃)要比二甲醚的沸点(－24℃)高得多。乙醇具有很大的偶极矩，而二甲醚的偶极矩却很小。水的偶极矩甚至比乙醇的还要大。

自从德布罗意和薛定谔提出电子是波包而不是轮廓分明的粒子这个新的电子观点(见第八章)之后，化学键的概念经历了一次更深刻的变化。1939年，美国化学家泡令在一本题为**《化学键的本质》**的书中提出了分子键的量子力学概念。特别值得一提的是，他的理论终于解释了苯分子具有极大稳定性这种自相矛盾的现象。

泡令将构成价键的电子描述为它所联结的两个原子之间的共振。他证明，在一定条件下，必须认为电子占据着许多位置中的任何一个位置(但概率不同)。由于电子具有类似波的性质，所以最好是把电子想象为被泼散开的一摊墨迹，以代表这些位置的单概率的加权平均值。电子散开得越均匀，该化合物就越稳定。如果分子拥有数个位于同一平面内的共轭键，并且所具有的对称性能

够使电子(视为1个粒子)拥有数个可供选择的位置,那么,这种**共振稳定性**就最有可能发生。苯环是在一个平面上而且是对称的。泡令证明,苯环的价键实际上并不是单、双键相间,而可以说是电子泼散开来,形成一种均匀分布,从而使所有的价键都十分相像,并且全都比普通的单键更牢固、更稳定。

共振结构虽然能圆满地解释化学键的性状,但却很难用画在纸上的简单图形来表示。正因为如此,尽管用现代的观点来看,古老的凯库勒结构只不过是对电子实际状况的近似描述,但它至今仍被普遍应用,而且直到可预见到的将来,无疑还要被继续沿用下去。

有机合成

在科尔贝制成醋酸之后,有一位化学家在19世纪50年代对有机物质的实验室合成开始进行全面系统的、有条有理的研究。他就是法国人贝特洛。贝特洛首先利用一些像一氧化碳这样的更为简单的无机物制成了一系列简单的有机化合物,然后逐步增加后者的复杂性,最后得到相当复杂的有机化合物,如乙醇。当然,这是**合成乙醇**,但它同“真品”毫无区别,因为它**就是**真品。

乙醇是大家都很熟悉的一种有机化合物,而且倍受许多人的青睐。化学家们不必用水果或粮食作为原料,而仅用煤、空气和水就能制造出乙醇(煤提供碳,空气提供氧,水提供氢),这个想法的确非常迷人,从而使化学家们荣获了“奇迹创造者”这一新称号。总而言之,有机合成被提上了重要议事日程。

然而,对于化学家们来说,贝特洛所做的甚至更有意义。他开始合成自然界中并不存在的一些产物。他用**甘油**(舍勒于1778年

发现的一种化合物,可从分解活机体的脂肪制取)和某些酸(虽然知道它们天然地存在于别的地方,但当时并不知道它们天然地存在于脂肪中)化合,结果获得了若干种与活机体中的脂肪不尽相同的脂肪性物质。

于是,贝特洛为一种新的有机化学——自然界中所不存在的分子的合成——奠定了基础。这意味着,人们不仅能制造一些也许在性能上稍差一些的**合成物质**,来替代某些因数量不足而很难或不能满足需求的天然化合物,而且还能制造出性能比天然物质还要好的**合成物质**。

自从贝特洛指明了道路之后,有机合成不仅能够弥补天然特质之不足,而且还能以这种或那种方式使其性能得到改善,这种观点在化学家们的心目中相当牢固地树立了起来。由这种新观点所产生的第一批成果是在染料领域。

第一批合成物质

有机化学的研究始于德国。维勒和李比希都是德国人,继他们之后,德国又出现了其他一些颇具才华的有机化学家。然而,在19世纪中叶之前,英国甚至根本没有能同德国相提并论的有机化学家。事实上,英国的学校当时对化学极不重视,只在午饭后的休息时间教授这门课程,并不指望(也许根本就不愿意)许多学生对化学产生兴趣。因此,第一个轰动世界的合成工艺竟出自英国,实在令人惊奇。

事情的大致经过如下:1845年,伦敦皇家理科学院终于作出认真开设化学课程的决定,并请来一位年轻的德国人执教。这个人就是当时只有27岁的A.W.霍夫曼。建议聘用A.W.霍夫曼的是维多利亚女王的丈夫阿尔贝特亲王(亲王本人也是德国血统)。

A.W. 霍夫曼感兴趣的课题很多,煤焦油即是其中之一,他曾在李比希指导下从事的第一个研究项目中接触过这种物质。煤焦油是在煤与空气隔绝条件下高温加热而产生的一种黑色黏稠物质。它虽然不讨人喜欢,但却是有机化学药品的一个重要来源。例如,在 19 世纪 40 年代,它是大量制取相当纯净的苯和一种称之为苯胺的含氮化合物(与苯有关)的原料,以上两种化合物都是 A.W. 霍夫曼最先从煤焦油中提取出来的。

A.W. 霍夫曼来到英国 10 年之后,偶然遇到一位名叫珀金的 17 岁少年,他当时正在皇家理科学院学习化学。A.W. 霍夫曼慧眼识英才,而且一旦发现人才,便热情扶持。他把这位少年提升为助教,让他从事煤焦油化合物的研究工作。珀金对工作满腔热情,从不懈怠。他在家里建立了一个实验室,从学校回来之后就在家里的实验室里继续工作。

A.W. 霍夫曼对化学在医学上的应用也很感兴趣。1856 年的一天,他在沉思中喃喃自语:能不能用化学方法合成奎宁(一种治疗疟疾的天然物质)呢? 这时结构式尚未盛行起来,人们只知道奎宁的原子组成,至于它的结构有多么复杂,当时无人知晓。(直到 1908 年人们才正确地推导出奎宁的结构式。)

年仅 18 岁的珀金,多亏他对奎宁的复杂结构一无所知,才敢于去解决奎宁的合成问题。他开始用的原料是他从煤焦油中提取的一种化合物**烯丙基甲基苯胺**。它的分子所含的各种原子的个数似乎均为奎宁的一半。珀金猜想,如果使两个这样的分子合并在一起,再把所缺的氧原子补足(比如说,混入一些重铬酸钾。它能使与它混合的化合物增添氧原子,这在当时已为人所知),那么,或许就能得到奎宁分子。

这种做法当然不会给珀金带来任何结果。他所得到的只是一种肮脏的棕红色黏液,后来他改用苯胺进行试验,结果得到一种黑

色黏液。可是在这种黑色黏液中,他隐约看到了一种紫色闪光。他加进一些酒精,那些无色的酒精便变成了美丽的紫色。珀金立即意识到,他或许发现了一种可用作染料的物质。

染料一向是深为人们喜爱但价格昂贵的物质。在古代,色泽鲜艳、耐洗耐晒的优质染料寥寥无几。这些染料有取自靛蓝植物的靛蓝和与之关系密切的**菘蓝**(罗马时代初期,不列颠曾因菘蓝而闻名于世);有取自蜗牛类动物的推罗紫(得名于古代的推罗城[①],该城曾靠此业致富。在罗马帝国后期,皇家的孩子都诞生在挂有推罗紫壁毯的房间里,皇族"生于紫色之中"的说法即由此而来);还有取自茜草科植物的淡红色的**茜素**(茜素一词源于阿拉伯语,意为"汁液")。除以上几种从古代和中世纪传下来的染料之外,后来的染匠又增添了几种热带染料和无机颜料(现在主要用于绘画)。

这就可以说明,当珀金意识到他的紫色物质有可能成为染料时,他为什么会那么激动了。在一位朋友的建议下,他给苏格兰的一家对染料感兴趣的公司寄去了一些样品,并很快得到回音:紫色化合物性能良好。那么,能不能廉价供应呢?于是,珀金便着手申请专利(对于一个18岁的年轻人能否获得专利一事,人们争论不已,但他还是终于获得了专利),并退学转入了实业界。

要实现他的这个计划,可不是轻而易举的事。珀金必须白手起家,用自行设计的设备从煤焦油中制取他自己的原料。然而,他在6个月之内就制取了他称之为**苯胺紫**的物质,这是一种自然界中所没有的化合物,其色度范围超过任何天然染料。

法国染匠比保守的英国染匠更快地采用了这种新染料,他们把这种由锦葵属植物制取的颜色称之为**锦葵紫**,而将这种染料称

---

① 现在译为提尔(今改名为苏尔),黎巴嫩南部省沿海城镇。该城在中文《圣经》中称为推罗。曾以丝制品和推罗紫染料而闻名。——译注

之为**锦葵紫染料**。不久，这种染料便风行于整个世界（这个时期有所谓“苯胺紫十年”之称）。珀金因此而致富，23岁时就成了染料方面的世界权威。

就这样，大坝被冲垮了。在珀金的惊人成就的鼓舞下，许多化学家都转到了合成染料的研究上来，而且有不少人获得了成功。珀金的老师A.W.霍夫曼也转向这一新领域，并在1858年合成了紫红色染料。后来法国染匠（迄今仍是时髦式样的主宰）给它取名叫**马真塔**，这是意大利一个城市的名字，法军曾于1859年在此大败奥军。

1865年，A.W.霍夫曼怀着对染料的新的兴趣返回德国。他发现了一批至今仍被称之为**霍夫曼紫**的紫色染料。到了20世纪中叶，商用合成染料的数目已不下3 500种。

另一方面，化学家们在实验室中还成功地合成了天然染料。珀金和德国人格雷贝分别独立地于1869年合成了茜素（格雷贝先于珀金一天申请专利）。德国化学家拜耳于1880年研制了靛蓝的合成方法（由于在染料领域的成就，拜耳获得了1905年的诺贝尔化学奖）。

珀金在他35岁那一年，即1874年，退出实业界，重新回到他当初所喜爱的研究工作上。1875年，他设法合成了**香豆素**（一种天然物质，具有令人愉快的新收割的牧草的香味），这便是香料合成工业的开端。

面对德国有机化学的巨大发展，珀金一个人并不能使英国在这方面保持优势；在上世纪末和本世纪初，“化学合成物质”几乎为德国所垄断。继承珀金所开创的合成香料事业的，是一位名叫瓦拉赫的德国化学家。1910年，瓦拉赫因其研究成果而获得了诺贝尔化学奖。在瑞士执教的克罗地亚化学家卢齐卡首次合成了一种重要的香料——麝香。他分享了1938年的诺贝尔化学奖。然而，

在第一次世界大战期间，英国和美国由于无法进口德国化学实验室的产品，被迫发展他们自己的化学工业。

生物碱和止痛药

如果化学家们真的只能像珀金那样靠碰运气行事，那么，要想在有机化学领域取得成就那就只有靠摸索了。幸运的是，在珀金发现苯胺紫后不过 3 年，就出现了凯库勒的结构式，从而使描绘有机分子的蓝图成为可能。化学家们不再仅凭猜测和愿望来制备奎宁了，他们已拥有能够一步步攀登上分子结构高峰的种种方法，而且能够预见前进的方向和可望得到的结果。

化学家们已经知道如何把 1 个原子团替换成另 1 个原子团，如何把原子环打开和如何把开放的链围成闭合的环，如何把一些原子团分成两部分，以及如何把碳原子一个挨着一个地连接成链。完成有机分子内某一特定结构的特殊方法，往往仍以首先描述这种方法的化学家的姓氏来命名。例如，珀金发现，把某些物质与**醋酸酐**或**醋酸钠**一起加热，能使这些物质增加 1 个含有 2 个碳原子的原子团。这种方法迄今仍称之为**珀金反应**。珀金的老师 A.W.霍夫曼发现，在有一种银化合物存在的情况下，含氮的原子环在用一种被称为**甲基碘**的物质进行处理时，这个环最终会断裂并释放出氮原子。这就是**霍夫曼降解反应**。1877 年，法国化学家弗里德与美国化学家克拉夫茨合作，发现使用氯化铝并加热，可以给苯环添加 1 个短碳链。这种方法现在称之为**弗里德-克拉夫茨反应**。

1900 年，法国化学家格利雅发现，如果能够正确地使用金属镁，就能够造成大量具有不同结合方式的碳链。他在他的博士论文中提出了这个发现。由于对这些**格利雅反应**的研究，格利雅分享了 1912 年的诺贝尔化学奖。与格利雅分享诺贝尔化学奖的是法国化学家萨巴蒂埃，他(与桑德仑一起)发现，利用细镍粉能够使

碳链在双键处增加氢原子。这种方法就是**萨巴蒂埃-桑德仑反应**。

1928年，德国化学家狄尔斯和阿尔德发现了一种方法，能够使碳链的两端与另一碳链的双键的两端相连，形成一个原子环。这就是**狄尔斯-阿尔德反应**。由于这一发现，他们共同获得了1950年的诺贝尔化学奖。

换句话说，通过记录物质的结构式在各种化学药品和不同条件的影响下发生的变化，有机化学家们制定出一套日渐增多的程序，告诉人们如何按自己的愿望把一种化合物转变为另一种化合物。这并非易事，因为每一种化合物和每一个变化都有自己的特点和难点。不过，主要道路已经畅通，而且熟练的有机化学家们还为自己找到了前进的明显标志，而这原先似乎是一个难以穿越的迷宫。

有关某些特定原子团的行为方式方面的知识，还可用来探索未知化合物的结构。例如，简单的乙醇与金属钠发生反应时会释放出氢。但是，释放的仅仅是与氧原子相连的氢，而不是与碳原子相连的氢。另外，有些有机化合物在适当的条件下会与氢原子结合，而有些有机化合物则不能。原来，凡能结合氢原子的化合物一般都具有双键或三键，并以这些键来结合氢原子。由于有了这类知识，从而产生了一套全新的有机化合物的化学分析方法；这些方法能够测定原子团的性质，而不仅仅是各类原子的数目和类型。加入钠而释放出氢，这说明该化合物中存在与氧结合的氢原子；接收氢则意味着存在双键或三键。如果分子过于复杂，难以进行整体分析，就用各种不同的方法把它分解成若干较简单的部分，这样就能分析出各部分的结构，由此再推导出原分子的结构。

以结构式作为手段和指南，化学家们就能够研究出某些有用的天然有机化合物的结构（分析），然后再在实验室中制造出同样的或类似的产品（合成）。其中的一个结果是，人们能在实验室中

大量而廉价地制造出某些自然界中稀有的、昂贵的或难以获得的产品，或者制造出某些比类似的天然产品能更好地满足需要的产品，如煤焦油染料。

有一个令人震惊的例子，即人们曾有意识地改变了可卡因的性质。可卡因是在古柯树（一种原来生长在玻利维亚和秘鲁而现在主要生长在爪哇的植物）叶子中发现的。同前面提到的马钱子碱、吗啡和奎宁等化合物一样，可卡因也是一种**生物碱**，即一种含氮的植物产物。少量的生物碱即能在生理上对人产生强烈的影响，视剂量大小，它既可以治病，也可以致人于死命。苏格拉底[①]被毒芹中所含的一种生物碱——**毒芹碱**——毒死，是历史上生物碱中毒致死的最著名的例子。

某些生物碱的分子结构是极其复杂的，不过，这正好激发了人们的好奇心。英国化学家鲁宾森对生物碱进行了系统的研究。他于 1925 年研究出了吗啡的结构（仅有 1 个原子未完全确定），于 1946 年研究出了马钱子碱的结构。由于人们认识到了他工作的价值，他获得了 1947 年的诺贝尔化学奖。

不过，鲁宾森只是研究出了这些生物碱的结构，而并没有将其作为指南来合成这些物质。美国化学家 R.B. 伍德沃德却考虑到了这一点。R.B. 伍德沃德与他的美国同事多林于 1944 年共同完成了奎宁的合成。珀金一直追求而未得到的这一特定化合物终于获得了惊人的成果。如果你感兴趣的话，则奎宁的结构式如下：

① 古希腊三大哲人中的第一位。公元前 399 年他被指控为“腐蚀青年”和“藐视城邦崇拜的神和从事新奇的宗教活动”而被判处死刑，随后便服毒芹汁液而死。

——译注

```
                        OH
                        |
                        CH————————CH——N—CH2
CH3                     |         |     |     |
   \                    |         |    CH2    |
    O      CH           C         |     |     |
     \   //   \       /   \\      |    CH2    |
       C        C          CH     |     |     |
       |        ||          |     |     |     |
      CH        C          CH    CH2— CH—CH—CH=CH2
        \\    /   \      //
          CH        N
```

难怪这个结构会使珀金陷入困境。R.B. 伍德沃德和多林之所以解决了这个难题，并不仅仅是靠他们的聪明才智，而且还在于他们熟练地掌握了泡令等人所建立的有关分子的结构和性状的新电子理论。此后，R.B. 伍德沃德又陆续合成了各种各样的复杂分子，例如，他于 1954 年合成了马钱子碱。而在此之前，这被认为是高不可攀的。

然而，早在这些生物碱的结构被发现以前，其中的一些生物碱(特别是可卡因)业已引起了医生们的浓厚兴趣。人们发现，南美洲的印第安人咀嚼古柯树叶，原来它能消除疲劳和引起欣快感。苏格兰医生克里斯蒂森把这种植物引种到了欧洲。(在蒙昧社会里的巫医和卖药草的妇女看来，这并不是献给医学的惟一礼物。另外还有上面提到的奎宁和马钱子碱，以及鸦片、洋地黄、箭毒[①]、颠茄碱、羊角拗定和利血平。另外，抽烟、喝酒、嚼槟榔果、吸大麻和服皮约特[②]等，也都是从原始社会遗传下来的。)

可卡因并不仅仅是一种普通的能产生欣快感的药物。医生们发现，它还能使人体的某一部位暂时失去痛觉。1884 年，美国医生科勒发现，可卡因可用作镇痛药，在对眼睛施行手术时将它涂在

① 南美印第安人从马钱子属植物中提取并用来涂箭头的毒物，现供药用。

② 一种从麦斯克尔仙人掌的钮形茎头提取出来的兴奋剂。——译注

眼睛周围的黏膜上，病人就会没有痛感。可卡因还可用于牙科，使病人在拔牙时没有痛苦。

这种效果使医生们十分着迷，要知道，19世纪医学上的伟大胜利之一正是在镇痛方面所取得的成果。1799年，戴维研制出了**一氧化二氮**(N_2O)气体，并研究了它的疗效。他发现，这种气体被吸入人体后，就会释放出抑制物质，使人狂笑、大叫或做出其他一些愚蠢的举动。因此，它通常又被称为**笑气**。

19世纪40年代初期，美国科学家科顿发现，笑气能使人失去痛觉；1844年，美国牙科医生H.韦尔斯将这种气体用于牙科手术。不过，当时已经有一种更好的药物进入了这一领域。

美国外科医生朗于1842年曾用乙醚使病人在拔牙时进入睡眠状态。1846年，美国牙科医生莫顿在马萨诸塞州总医院实施了一例乙醚麻醉手术。人们往往将这一发现归功于莫顿，因为在莫顿进行公开表演之前，朗不曾在任何医学杂志上介绍过自己的技术，至于H.韦尔斯最早用笑气所做的公开表演，则仅获得了微不足道的成功。

美国诗人兼医生霍姆斯建议将具有镇痛作用的化合物称为**麻醉剂**(源于希腊语，意思是"无感觉")。当时的一些人认为，是上帝要使人类遭受痛苦，使用麻醉剂来逃避这种痛苦则是一种亵渎神圣的行为。但是，后来人们之所以认为使用麻醉剂是高尚的，是因为苏格兰医生辛普森在英国维多利亚女王分娩时用它来镇痛。

麻醉剂最终使外科手术不再像屠宰场一样使病人极端痛苦，至少变得较为人道，如果手术在消毒条件下施行，甚至能挽救病人的生命。因此，麻醉学的任何进展都引起了医生们的极大关注。可卡因的特殊意义在于它是一种**局部麻醉剂**，就是说，它只使人体的一定部位失去痛觉，而不是像**全身麻醉剂**乙醚那样，使人完全丧失意识和感觉。

然而，可卡因也有一些不足之处。首先，它会产生一些不良的副作用，甚至会使对它过敏的病人丧命。其次，它会使人成瘾，因此必须少用、慎用。（可卡因是一种危险的毒品，它不仅能消除疼痛，而且还能消除其他不愉快的感觉，从而给吸毒者以异常欣快的幻觉。吸毒者会适应这种毒品并不断要求加大剂量。尽管毒品给身体产生了严重影响，但由于吸毒者如此依赖这种毒品所产生的幻觉，所以，如不忍受令人痛苦的**戒毒症状**，就不能戒掉。对可卡因和其他这类毒品的**毒品瘾**已成为严重的社会问题。尽管全世界都在努力禁止毒品的非法交易，但每年非法生产和贩卖的可卡因高达 20 多吨。这给少数人带来了暴利，而使许多人陷入痛苦的深渊。）第三，可卡因的分子很脆弱，在加热消毒时即能引起分子结构的变化，而分子的变化则会影响它的麻醉效果。

可卡因分子的结构相当复杂：

```
                        O
                       //
                      C—O—CH3
                     /
CH2 — CH—CH                 O
 |   /      \              //
 |  N—CH3    CH—O—C        CH
 |   \      /        \   //   \
CH2 — CH—CH2           C        CH
                       |        ||
                       CH       CH
                        \\     /
                           CH
```

左边的双环是脆弱部位，也是难于合成部位。（直到 1923 年，德国化学家威尔特才设法合成出可卡因。）然而，在化学家们看来，他们能合成出类似的化合物，其中的双环不是闭合的，这样就能使这种化合物既易于合成，又比较稳定。这种合成物质可能具有可卡因的麻醉性能，而且也许没有令人讨厌的副作用。

对于这个问题，德国化学家们研究了约 20 年，制造出了几十

种化合物,其中有些性能良好。最成功的改进是在 1909 年取得的,当时合成出了一种具有下述分子式的化合物:

```
        CH2                        O
       / |                        //
  CH3    |                       /
         N      CH2—O—C        CH
  CH3    |  \    |       \   //    \
       \ |   \   |        C          CH
        CH2     CH2       |          ||
                          CH         C
                           \\      /   \
                             CH       NH2
```

将这个结构式与可卡因的结构式作一比较,你就可以看出它们之间的相似之处以及一个重要事实,即双环已不复存在。这种较简单的分子在自然界中是不存在的,它稳定,易于合成,麻醉效果良好,而且几乎没有副作用。这是一种远远胜过可卡因的**合成代用品**,称为**普鲁卡因**,而大家更为熟悉的则是它的商品名称“奴弗卡因”。

在一般的镇痛剂中,最有效、最有名的也许是吗啡。它的这个名字源于希腊语,意为“睡觉”。吗啡是由鸦片或**鸦片酊**提纯出来的,在若干世纪以来,原始人和文明人都用它来消除疼痛和尘世间劳碌所造成的神经紧张。对于那些被疼痛折磨得死去活来的人们,吗啡简直是灵丹妙药,但它也具有使人成瘾的致命危险。然而,寻找代用品的努力却取得了适得其反的结果。1898 年,人们合成了衍生物**二乙酰吗啡**即广为人知的**海洛因**。人们原以为它比较安全,后来才知道它是最危险的毒品。

危险性较小的**镇静剂**(安眠药)是**水合氯醛**和**巴比妥**,特别是后者危险性更小。巴比妥类药物 1902 年首次使用,现在是安眠片的最平常的成分。虽然适量服用这类药物无甚危害,但它也会使人成瘾,过量服用则会引起死亡。实际上,由于死亡是作为逐渐沉睡的最终结果平静地到来的,所以,过量服用巴比妥类药物就成了

自杀或企图自杀的一种相当常见的方法。

最普通而且也是用得最久的镇静剂，当然要首推酒精了。早在史前时期，人们就已经知道使果汁和粮食发酵来酿酒的方法。在中世纪，人们已采用蒸馏方法来酿制比天然生成的产品更加浓烈的酒。尽管酒精像吗啡一样，肯定会使人成瘾，而且无节制地饮酒会给身体带来更加严重的危害，但对于伤寒和霍乱病人，淡酒却是补充水分的一种捷径，而且适量饮酒也为社会所接受，因此，很难将酒作为毒品予以禁止。用法律来禁止出售酒类看来是行不通的，美国于1920—1933年间曾试行过"禁酒法"，结果遭到彻底失败。尽管如此，酒精中毒越来越被看成是一种疾病，而不仅仅是一个道德问题。对于那些吃饭甚少但饮酒无度的人来说，酒精中毒的明显症状（**震颤性谵妄**）多半不是由酒精本身而是由维生素缺乏症引起的。

原卟啉

目前，人类已经制造出各种各样具有巨大潜在用途但也可能被误用的合成制品，如炸药、毒气、灭虫剂、除草剂、防腐剂、去污剂、医药等，真是不胜枚举。但是，合成技术不仅可以用来弥补消费者所需物品之不足，而且还能为纯化学研究服务。

常常出现这种情况，即不论是由活组织产生的还是由有机化学家用设备合成的复杂化合物，即使根据它所经历的化学反应的性质作出种种推导，也只能得出一个假定的结构式。在这种情况下，出路就是用所设计的一系列反应（旨在制造出像所推导出来的结构式那样的分子结构）来合成出一种化合物。如果所产生的化合物的性质与第一次研究的化合物的性质完全相同，那么，化学家们就可以信赖原先推导出来的结构式。

在这方面，一个给人留下深刻印象的例子是**血红蛋白**，它是红

血球的主要成分，是使血液呈现红色的色素。1831年，法国化学家勒卡努将血红蛋白分解成两个部分，其中较小的部分称为**血红素**，占血红蛋白质量的4%。现已发现，血红素的实验式为$C_{34}H_{32}O_4N_4Fe$。由于像血红素这样的化合物还存在于其他重要的物质中，即存在于植物界和动物界中，因此，血红素的分子结构对于生物化学家来说是极其重要的。然而，在勒卡努分离血红素之后的将近一个世纪内，人们所能做到的只不过是把它分成更小的分子。铁原子(Fe)很易分离出来，而剩余部分则分裂为大致相当于原分子1/4大小的碎片。这些碎片原来是**吡咯**。吡咯的分子是由5个原子(其中4个为碳原子，1个为氮原子)构成的环组成的。吡咯本身的结构如下：

```
      CH—CH
     //    \\
   CH        CH
     \      /
        NH
```

实际上由血红素获得的吡咯拥有若干个含1个或2个碳原子(连接在环上以取代1个或多个氢原子)的小型原子团。

20世纪20年代，德国化学家H. 费歇尔更深入地研究了这个问题。既然吡咯的大小约为原血红素的1/4，于是他就决定设法将4个吡咯结合在一起，看看最终会得到什么样的东西。他终于获得成功，得到一种他称之为**卟吩**(源于希腊语，意为“紫色”，因为它是紫色的)的四环化合物。卟吩的结构式是这样的：

```
        CH      CH      CH
       /  \\   /  \\   /  \\
    CH      C        C        CH
     \\     |        |       /
       C—NH          N=C
      /                  \
    CH                     CH
     \\                   //
       C— N          NH—C
      /   ||         |    \
    CH    C          C     CH
     \\  / \       // \   //
      CH     CH        CH
```

然而,由血红素获得的吡咯原来含有一些与环连接的小**侧链**。当吡咯组合成卟吩时,这些侧链仍停留在原来的位置。含有各种侧链的卟吩组成了一族称之为**卟啉**的化合物。在血红素中发现的拥有特殊侧链的那些化合物叫做**原卟啉**。H. 费歇尔将血红素的性质与他所合成的卟啉的性质加以比较之后发现,血红素(减去它的铁原子)就是一种原卟啉。但究竟是哪一种呢? 根据 H. 费歇尔的推论,由血红素获得的各种不同的吡咯能结合成不下 15 种不同的原卟啉(每种都具有不同的侧链排列),而其中任何一种都有可能是血红素。

将这 15 种化合物逐一合成出来,并分别检验它们的性质,便能够得到答案。H. 费歇尔将合成工作交给他的学生们去做,他仔细选用了一些化学反应,每次只允许合成其中一种具有特定结构的原卟啉。在这 15 种不同的原卟啉合成出来之后,他将它们的性质与血红素的天然原卟啉的性质进行了对比。

他于 1928 年发现,这个系列中编号为Ⅸ的原卟啉正是他要寻找的那一种。因此,那种天然原卟啉至今仍称为**原卟啉Ⅸ**。要使原卟啉Ⅸ添加 1 个铁原子转变为血红素是很容易的。化学家们终于相信,他们已经知道了这种重要化合物的结构。下面就是 H. 费歇尔研究出来的血红素的结构式:

```
                    CH2
                   //
              CH      CH3
             /           \
           C      CH       C
          / \\   /  \\   /  \\
        C     C         C      C
       / \\   |         |    /   \
   CH3    C—N           N—C      CH
         /    \       /    \\      \\
       CH       Fe          CH      CH2
        \\    ..  ..       /
   CH3    C—N        N=C       CH3
      \  /    ||      |    \  /
        C     C       C      C
         \\  /  \   // \   //
           C     CH      C
           |             |
          CH2           CH2
           |             |
          CH2           CH2
           |             |
          C=O           C=O
           |             |
          OH            OH
```

由于这项成就，H. 费歇尔获得了 1930 年的诺贝尔化学奖。

新方法

在 19 世纪和 20 世纪前半叶，合成有机化学方面取得的全部成就无疑是巨大的，但所使用的方法却与古代炼金术士所使用的方法相同，即将几种物质加以混合并进行加热。加热是使分子增加活力并发生相互反应的可靠方法，不过，就本质而言，这样的反应通常是随机的，并会产生一些短暂存在的不稳定的中间产物，而对于这些中间产物的性质则仅能进行猜测而已。

化学家们所需要的是一种更精细、更直接地使分子具有活力的方法，即能够使一群分子全都以大致相同的速度、朝大致相同的

方向运动的方法。这种方法能够消除反应的随机性，因为这时一个分子如何行动，其余的分子也都会照此办理。一种方法是在电场中加速离子，犹如在回旋加速器中加速亚原子粒子。

1964年，德国血统的美国化学家沃尔夫冈借助一种可称为化学加速器的装置来加速离子和分子，使之达到很高的能量。这种装置所产生的离子速度若用加热方法来达到，则温度必须高达1000℃～100 000℃。另外，这些离子还以相同的方向运动。

如果有电子存在的话，被加速的离子就会抓住这些电子并转变为中性分子，而且仍以极高的速度行进。美国化学家华顿已于1969年获得了这样的中性分子束。

至于化学反应的短暂的中间阶段，电子计算机可以解决这个问题。电子计算机可以解在不同原子组合中决定电子状态的量子力学方程，还可以计算出在碰撞过程中将会发生的各种事件。例如，1968年，在意大利血统的美国化学家克莱门蒂的指导下，曾利用一台计算机使氨与盐酸在闭路电视监视下碰撞以生成氯化铵，结果，所发生的事件正是计算机计算出来的事件。计算机计算的结果表明，所形成的氯化铵是温度为700℃的高压气体。这种情况以前并不知道，但在几个月后被实验所证实。

近10年来，化学家们在理论和实验方面都研究出了一些新型工具。迄今尚未知晓的一些反应的细枝末节将会被弄个水落石出，许多在过去无法获得的或至多只能少量获得的新产品将会被合成出来。也许我们正站在一个意想不到的奇境的入口处。

聚合物与塑料

当我们考虑像血红素和奎宁这样的物质的分子时,其复杂程度连现代化学家也必须费尽心机才能应付得了。要合成这类化合物,需要那么多的步骤和方法,如不借助某种活机体,几乎不敢期望将它们大量地生产出来(化学家除外)。然而,我们也不必因此而妄自菲薄。就复杂程度而言,即使是活组织本身也已达到了极限。在自然界,很少有比血红素和奎宁更为复杂的分子。

当然,自然界中存在有由几十万甚至几百万个原子组成的天然物质,但它们并不是真正的单个分子,也就是说,并不是一个整体。更确切地说,这些大分子是由许多单元构成的,就像是由一颗颗珠子串成的项链。活组织往往是首先合成一些小的、相当简单的化合物,然后仅仅是将这些单元串连成一条条长链。正如我们将要看到的,这种事情化学家们也能做到。

缩合作用与葡萄糖

在活组织中,小分子的这种结合(**缩合作用**),通常要在每一个接合点上完全失去 2 个氢原子和 1 个氧原子(结合在一起形成 1 个水分子)。这种过程是可逆的(在身体中和在试管中都如此):加水可以使链中的各单元脱钩并彼此分开。缩合作用的这种逆过程称之为**水解作用**——源于希腊语,意为“通过水而松开”。在试管中,这些长链的水解过程可用各种不同的方法来加速。最常见的加速方法是在混合物中加进一定量的酸。

对大分子化学结构的首次研究可追溯到 1812 年,那一年,俄

国化学家克希霍夫发现，淀粉加酸煮沸能生成一种与葡萄糖(从葡萄中提取的糖)性质相同的糖。1819 年，法国化学家布拉孔诺通过煮沸各种植物产物如木屑、亚麻和树皮——它们都含有一种叫做**纤维素**的化合物——也得到了葡萄糖。人们很容易猜想到，无论是淀粉还是纤维素，都是由葡萄糖单元构成的，至于淀粉和纤维素的分子结构的细节，则还有待于对葡萄糖的分子结构的进一步认识。最初，由于结构式尚未出现，人们只知道葡萄糖的经验式是 $C_6H_{12}O_6$。这种比例关系表明，6 个碳原子中的每一个都连接着 1 个水分子 H_2O)。因此，葡萄糖以及结构与之相似的化合物被称为**碳水化合物**。

葡萄糖的结构式是德国化学家基利阿尼于 1886 年研究出来的。他证明，葡萄糖分子的 6 个碳原子构成一条直链，彼此分离的氢原子和氢氧根就连接在这个链上。在葡萄糖分子中，任何地方都没有完整的水分子组合。

在以后大约 10 年的时间里，德国化学家 E. 费歇尔对葡萄糖进行了详细研究，并研究出了碳原子周围的氢氧根的精确排列方式，其中有 4 个氢氧根是不对称的。这些氢氧根有 16 种可能的排列方式，因此有 16 种可能的性质不同的旋光异构体。的确，化学家们已经研制出了所有这 16 种异构体，然而只有少数几种真正在自然界中存在。

下面是葡萄糖和其他两种常见的果糖和半乳糖的结构式：

```
     CH=O                 CH2—OH               CH=O
     |                    |                    |
  H—C—OH                 C=O               H—C—OH
     |                    |                    |
 HO—C—H              HO—C—H              HO—C—H
     |                    |                    |
  H—C—OH               H—C—OH             HO—C—H
     |                    |                    |
  H—C—OH               H—C—OH              H—C—OH
     |                    |                    |
     CH2—OH               CH2—OH               CH2—OH
    葡萄糖                果糖                半乳糖
```

这些是能够充分展示分子不对称性的最简单的结构。但实际上,分子为非平面的环状,每个环由 5 个(有时是 4 个)碳原子和 1 个氧原子组成。

正是由于对这些糖的旋光性的研究,E. 费歇尔才建议将旋光化合物分为 L 系和 D 系两大类。由于为碳水化合物化学奠定了坚实的基础,他获得了 1902 年的诺贝尔化学奖。

化学家们一旦知道了简单糖类的结构,要想知道简单糖类以何种方式构成更为复杂的化合物就比较容易了。例如,1 个葡萄糖分子和 1 个果糖分子可以缩合成蔗糖——我们餐桌上的食糖。葡萄糖与半乳糖相结合形成乳糖,在自然界中,乳糖仅存在于乳汁中。

没有理由认为缩合不能无限制地进行下去。事实上,淀粉和纤维素的情况就是如此。这两种物质都是由葡萄糖单元按一定图式缩合而成的长链构成的。

缩合图式的细节是很重要的,因为尽管这两种化合物都由相同的单元构成,但二者却有着深刻的差异。

这种或那种形态的淀粉构成了人类食物的主要成分,而纤维素则全然不适于食用。由于化学家们的苦心钻研,终于弄清楚了

缩合图式的差异，它与下面的情况有些类似：假设葡萄糖分子可以正着看（用 u 表示）或倒着看（用 n 表示），那么，淀粉分子可以看成是由葡萄糖分子按"……uuuuuuuu……"的图式缩合而成的，而纤维素则按"……unununun……"的图式构成。人体的消化液具有使淀粉的 uu 键合进行水解的能力，使淀粉水解成我们可以吸收而获得能量的葡萄糖。而同样的消化液却对纤维素的 un 键合无能为力，因此，我们所食用的纤维素都是穿肠而过，最后排出体外。

尽管没有一种高等动物能够消化纤维素，但有些微生物，例如寄生在反刍动物和白蚁肠道中的微生物，却能做到这一点。多亏了这些不显眼的助手，使我们受益匪浅的牛才能靠吃草而生存，使我们狼狈不堪的白蚁靠吃木头而活命。这类微生物能大量地将纤维素转化为葡萄糖，它们消耗掉自己所需要的一份，而将多余的供给寄主。这些微生物提供加工过的食物，而寄主则提供原料和住所。两种生物之间这种互惠的合作方式称之为**共生现象**（源自希腊语，意为"共同生活"）。

晶型和非晶型聚合物

哥伦布曾经发现，南美洲土著人所玩的一种球，是用硬化了的植物汁液做成的。哥伦布以及以后两个世纪里到过南美洲的探险家们，无不对这些有弹性的球（用巴西的一种树木的汁液做成）感到惊讶不已。后来，一些样品被当作珍品带回欧洲。大约在 1770 年前后，普里斯特利（在发现氧之前不久）发现，这种弹性物质能够擦掉铅笔的痕迹，于是给它起了个不起眼的名字——**擦子**（rubber）。这至今仍是这种物质的英文名字。英国人称它为**印度擦子**，因为这种物质来自"印度"（哥伦布发现新大陆时误以为那就是印度）。这种物质就是**橡胶**。

后来，人们又发现了橡胶的其他一些用途。1823 年，有个名

叫麦金托什的苏格兰人在两层布中间夹一层橡胶,然后做成长袍,以供雨天使用。他的这种防雨衣获得了专利,至今人们有时仍将雨衣叫做**麦金托什**。

然而,这样使用橡胶有一个问题,就是它在热天会变得像胶一样黏,而在冷天则又变得像生皮革一样硬。许多人试图发明对橡胶进行加工处理的方法,以消除它的这些令人讨厌的特性。其中有一位名叫古德伊尔的美国人,虽然他对化学一无所知,但他却坚持研究,一次次试验又一次次失败,仍坚持不懈。1839 年的一天,他不小心将橡胶和硫磺的混合物撒落在火热的炉子上。他赶忙将这些混合物从炉子上刮下来,结果他惊奇地发现,加过热的橡胶和硫磺的混合物尽管还是热的,但却很干燥。他将这些混合物再加热和冷却,结果发现,它既不因加热而变黏,也不会遇冷而变硬,始终保持柔软而富有弹性。

现在,在橡胶中加入硫磺的过程叫做**硫化**(依照罗马火神伍尔卡努斯的名字取名)。说来令人慨叹,虽然古德伊尔的发现价值连城,但他本人却从未得到过任何报偿。他毕生为取得专利权而斗争,到死时仍负债累累。

对橡胶分子结构的认识要追溯到 1879 年,那一年,法国化学家布沙尔达将橡胶在与空气隔绝的条件下加热,结果得到一种叫做**异戊二烯**的液体。异戊二烯的分子由 5 个碳原子和 8 个氢原子组成,排列方式如下:

$$\begin{array}{c} \quad CH_3 \\ \quad | \\ CH_2{=}C{-}CH{=}CH_2 \end{array}$$

另一种植物汁液(胶乳)产自东南亚的一些树木,它能产生一种叫做**固塔坡胶**的物质。这种物质缺乏橡胶那样的弹性,但在与空气隔绝的条件下加热时,也生成异戊二烯。

不论是橡胶还是固塔坡胶，都是由几千个异戊二烯单元构成的。正如淀粉和纤维素的差别那样，橡胶与固塔坡胶的差别也是键合图式的不同。在橡胶中，异戊二烯单元按……uuuuu……图式连成蜷曲的长链。这种长链在受拉时会伸直，因而橡胶富有伸缩性。在固塔坡胶中，异戊二烯单元按……unununun……图式连成长链，这种长链一开始就比较直，因此，它的伸缩性要小得多（图11－3）。

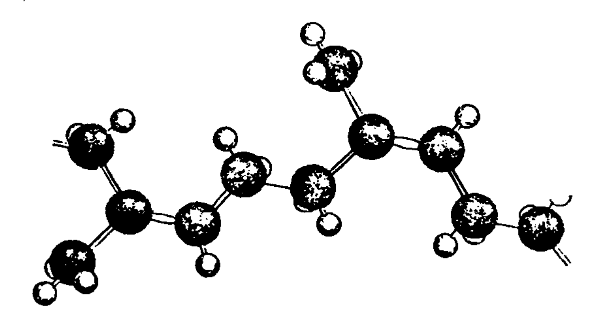


图11－3　由几千个异戊二烯单元构成的固塔坡胶分子的一个部分。左边的前5个碳原子（黑色球）与和它们结合的8个氢原子构成了1个异戊二烯单元

简单的糖分子如葡萄糖是**单糖**（希腊语，意为“一个糖”）；蔗糖和乳糖是**双糖**（“两个糖”）；而淀粉和纤维素则是**多糖**（“许多糖”）。由于两个异戊二烯分子连接形成一种有名的化合物——**萜烯**（来自松节油），所以橡胶和固塔坡胶也叫做**聚萜烯**。

早在1830年，贝采利乌斯（化学名称和符号的大发明家）就给这类化合物取了统一的名称。他将基本单元称为单体（“一份”），而将大分子称为**聚合物**（“许多份”）。由许多单元（比如100个以上）组成的聚合物称为**高聚物**。淀粉、纤维素、橡胶和固塔坡胶都是高聚物的例子。

聚合物并不是地道的化合物，而是由大小不一的分子组成的复杂的混合物。测定平均分子量的方法有多种，其中一种方法就是测量**黏度**（在给定压力下流体流动的难易程度）。分子越大，拉伸就越长，对液体**内磨擦**起的作用就越大，因而，就使这种液体流动起来更像糖蜜，而不是像水。这种方法是德国化学家施陶丁格于 1930 年研究出来的，是他在聚合物研究方面所取得的成就的一个部分。由于他在认识这些巨型分子方面所做出的贡献，他获得了 1953 年的诺贝尔化学奖。

1913 年，两位日本化学家发现，天然纤维，如纤维素的纤维，能像晶体那样使 X 射线发生衍射。从一般意义上讲，这些纤维并不是晶体，但却显示出**微晶质**特征，也就是说，构成纤维分子的单元所连成的长链，往往是一束束地、距离不等地平行排列。在这些平行链束中，原子像在晶体中那样，按顺序重复排列。当 X 射线投射到纤维的这些断面时，就发生了衍射。

于是，聚合物就被分为两大类：**晶型**和**非晶型**聚合物。

在像纤维素这样的晶型聚合物中，由于彼此平行的相邻的长链是以化学键连接在一起的，结果单链的强度得到增强，从而使纤维素具有相当大的抗拉强度。淀粉也是晶型聚合物，但结晶状况远不如纤维素，因此，缺乏纤维素的强度，也缺乏成形纤维的能力。

橡胶是一种非晶型聚合物。由于各单链并不平行排列，因而不存在交联现象。如果受热，各长链既能彼此独立地振动，又能在其他长链之间自由滑动。因此，随着温度的升高，橡胶或橡胶类聚合物会变得又软又黏，以至最终熔化。（拉伸会使橡胶的长链伸直，从而引进某些微晶质特征。因此，拉长了的橡胶具有相当大的抗拉强度。）至于纤维素和淀粉，由于其中的各个分子在这里或那里以化学键相连，因此它们不能像橡胶分子那样独立地振动，所以在受热时不会变软。在温度升高到足以使分子产生振动并将分子

彼此振开之前,它们一直保持僵硬状态,直至烧焦和冒烟。

当温度低于使之变黏的温度时,非晶型聚合物往往是柔软而富有弹性的。然而,在更低的温度下,这些聚合物就会变得像皮革一样硬,甚至像玻璃那样脆。生橡胶仅在相当窄的温度范围内才是干燥和富有弹性的。加入5%～8%的硫磺,会在链与链之间形成柔韧的硫键,这些硫键能降低各长链的独立性,从而防止了橡胶在中等温度下变黏。在不太低的温度下,硫键还能增加各链之间的自由活动范围,因此橡胶不会变硬。如果加进更多的硫,比如30%～50%,就会使链与链之间键合得很紧密,致使橡胶变硬。这样的橡胶称为**硬橡胶**。

(如果温度足够低的话,即使是硫化橡胶也会变得像玻璃那样脆。一个普通的橡胶球,若是在液态空气中浸泡片刻之后再掷向墙壁,也会碰得粉碎。这是在上化学课时最爱演示的实验之一。)

在一定的温度下,各种非晶型聚合物表现出不同的物理性质。在室温条件下,天然橡胶具有弹性,各种树脂是硬而脆,而糖胶树胶(产自南美洲的人心果树,是口香糖的主要成分)则软而黏。

纤维素和炸药

除了我们的食物——它们主要由高聚物所构成——之外,人类使用最久的一种聚合物恐怕就是纤维素了。纤维素是木头的主要成分,作为燃料和建筑材料,它们一向是必不可少的。纤维素还用来造纸。以纯纤维素形式存在的纤维素棉花和亚麻,一直是人类最重要的纺织原料。因此,19世纪中叶的化学家们自然要转向纤维素,用它作为制造其他巨型分子的原料。

改造纤维素的方法之一是将**硝酸根**(1个氮原子和3个氧原子)与葡萄糖中的氢氧根(**羟基**)连接。这样做了之后,再用硝酸和硫酸的混合物来处理纤维素,于是就制造出了一种在当时来说是

无与伦比的烈性炸药。这种炸药是德国出生的瑞士化学家舍恩拜因(他曾于1839年发现臭氧)于1846年偶然发现的。据说,有一天,他在厨房里(他被禁止在那里做实验,但他常趁妻子不在家时在那里做实验)弄洒了一种酸的混合物,他赶忙抓起他妻子的棉布围裙去擦污迹,当他将围裙挂在火炉上方烘烤时,围裙便“扑”地一声着了起来,烧得一点不剩。

舍恩拜因立即意识到了这种化合物的潜力,这可从他给这种化合物起的名字——火药棉——上看出来。(这种化合物还叫做**硝化纤维素**。)舍恩拜因向好几个国家的政府兜售他的这个秘方。普通火药在点燃时会产生浓烟,熏黑炮手,弄脏大炮,因而发射几次后就需要清扫一次。另外,在发射第一排炮弹之后,阵地上便升起滚滚浓烟,致使战斗不得不在盲目的估计下进行。因此,各国的军事部门都争相采用这种威力更大而又无黑烟的炸药。于是,制造火药棉的工厂雨后春笋般地建立了起来。然而,这些工厂几乎就像它们兴建时的速度那样,很快就被炸掉了。火药棉太容易爆炸了,往往等不到大炮发射。到了19世纪60年代初期,“走火”的火药棉的隆隆声终于沉寂下来,不论是从数字还是从文字上看,情况都确实如此。

然而,后来找到了一些方法,能够清除掉使火药棉走火的少量杂质。这样,火药棉的制造和使用就变得足够安全了。1889年,英国化学家迪尤尔(他以使气体液化而闻名于世)和他的合作者阿贝耳引进了一项技术,即将火药棉与**硝化甘油**混合,然后再在这种混合物中加入凡士林,最后将其压制成线状(这种混合物就叫做**无烟线状火药**)。这种火药棉最后终于成为一种有用的无烟火药。1898年西班牙与美国之间的那场战争就是用普通火药来打仗的最后一场战争。

[机器时代也为令人战栗的射击技术尽了一份力量。19世纪

60 年代，美国发明家加特林制造出了第一支能够迅速连发子弹的**连发枪**；19 世纪 80 年代，美国另一位发明家马克沁对这种枪进行了改进。**加特林连发枪**俗称**左轮**。这种枪和它的改进型**马克沁机枪**使得 19 世纪晚期的厚颜无耻的帝国主义者对于非洲和亚洲的那些“劣等种族”(吉卜林① 的带有侮辱性的话)具有空前的优势。正如当时流行的一句歪诗所说，“不管发生什么情况，我们有马克沁机枪，而他们都没有。”]

这方面的“进步”在 20 世纪仍在继续。第一次世界大战期间，最重要的炸药是**三硝基甲苯**，即人们所熟悉的缩写 TNT。第二次世界大战期间，威力更大的**旋风炸药**(三次甲基三硝基胺)投入使用。这两种炸药都含有硝基，而不含硝酸根。不过，对于战争贩子来说，任何化学炸药都比不上 1945 年的原子弹(见第十章)。

顺便提一下，硝化甘油与火药棉是在同一年发现的。那一年，一位名字叫索伯雷罗的意大利化学家用硝酸和硫酸的混合物来处理甘油，当他意识到发现了什么的时候，险些被随之而来的爆炸要了命。索伯雷罗没有舍恩拜因那种由发明而产生的冲动，他觉得**硝化甘油**过分危险，不好对付，于是就将这一发现搁置起来，未予公布。此后不到 10 年，一个姓诺贝尔的瑞典家族开始以“爆炸油”的名称生产这种产品，并把它用于采砂和建筑工程。经历了一连串事故(其中一次还夺去了这个家族的一个成员的性命)之后，死者的兄弟 A. 诺贝尔发现了一种方法，即在硝化甘油中掺入一种叫做**硅藻土**(主要由一种叫做硅藻的单细胞生物的遗骸构成)的吸附剂。这种混合物由 3 份硝化甘油和 1 份硅藻土组成，由于后者具有吸附能力，这种混合物实际上是干燥的粉末。一筒掺有硝化甘油的硅藻土(**达那炸药**)即使受到磕碰、锤击乃至火烧也不会爆

---

① R. 吉卜林(1865—1936)，英国小说家，1907 年诺贝尔文学奖获得者。

炸。但是,如果引发雷管(在远处用电流)使达那炸药爆炸,那么,这就会显示出与纯硝化甘油完全相同的爆破力。

雷管装有极易爆炸的炸药,在受热或受到机械撞击时就会爆炸,因此称之为**起爆管**。雷管爆炸所产生的强烈振动能引起不易爆炸的达那炸药爆炸。这样看来,危险似乎只不过是从硝化甘油转移到了起爆管。不过,事情并不像听起来那么糟糕,因为起爆管用量很少,而且最常用的起爆药是雷酸汞($HgC_2N_2O_2$)和叠氮化铅(PbN_6)。

一筒筒的达那炸药终于能够使美国西部地区以空前的速度铺设铁路、修建公路、开发矿山和修筑堤坝。诺贝尔(他发觉,同他的人道主义愿望相反,他被看成是“贩卖死亡的商人”)所发明的达那炸药和其他炸药使他成为一个离群索居、不受欢迎的百万富翁。他在1896年逝世时留下一笔基金,以其利息作为著名的**诺贝尔奖**的奖金。这种奖分物理、化学、医学与生理学、文学及和平事业五个领域,每年颁发一次。获奖者除赢得崇高荣誉以外,还被授予约4万美元的奖金(自设奖以来这个金额一直在不断增加)。第一次颁奖是1901年12月10日,即诺贝尔逝世5周年纪念日。现在,诺贝尔奖已成为一个科学家所能获得的最高荣誉。

考虑到人类社会的性质,一些大科学家们仍将花费相当大的精力来继续研究炸药。由于几乎所有炸药都含氮,因此氮元素及其化合物的物质组成及化学性质对于炸药研究是至关重要的。(必须承认,对于生命也极为重要。)

对化学理论而不是对炸药感兴趣的德国化学家奥斯特瓦尔德研究了化学反应的速度。他将与物理学有关的数学原理应用于化学,从而成为物理化学的奠基人之一。在上世纪末与本世纪初,他研究出一种将氨(NH_3)转变为氧化氮(NO)的方法,后者可以用来制造炸药。由于奥斯特瓦尔德在化学理论特别是在催化剂方面的

研究成果，他获得了 1909 年的诺贝尔化学奖。

在 20 世纪的头几十年，可供利用的氮主要来自智利北部地区沙漠中的硝石矿。在第一次世界大战期间，由于英国海军的封锁，德国无法得到这些矿区的硝石。然而，德国化学家哈伯研究出了一种方法，能够使空气中的分子氮在高压下与氢结合，形成奥斯特瓦尔德法所需要的氮。稍后，德国化学家博施——他在第一次世界大战期间曾负责监造氮制造厂——对**哈伯法**进行了改进。哈伯获得了 1918 年的诺贝尔化学奖，而博施则与别人分享了 1931 年的诺贝尔化学奖。到了 20 世纪 60 年代末，仅美国每年用哈伯法生产的氨就有 1 200 万吨之多。

塑料和赛璐珞

现在让我们重新回到改造纤维素的问题上来。显然，正是由于添加了硝酸根才使纤维素具有爆炸性。在火药棉中，所有可供取代的羟基都被硝化了。如果只有部分羟基被硝化，那情况又会怎样呢？它们的爆炸性是否会小一些？事实上，这种部分硝化纤维素证明根本没有爆炸性。不过，这种物质的确很容易燃烧；后来，这种物质被命名为**焦木素**（源于希腊语，意为“柴火”）。

正如法国学者梅纳尔和美国医科大学学生梅纳德（他俩的姓氏十分相似）所分别独立发现的那样，焦木素能溶解于乙醇和乙醚的混合物。当乙醇和乙醚蒸发之后，剩下来的焦木棉是一种坚韧的透明薄膜，叫做**胶棉**。胶棉最初被用来包扎轻微的刀伤或擦伤，所以将它叫做**新皮**。然而，胶棉的奇迹只不过刚刚开始，更多的奇迹还在后面。

大块的胶棉本身很脆。不过英国化学家帕克斯发现，如果将它溶解于乙醇和乙醚的混合物中，然后再与像樟脑这样的一种物质混合，当溶剂蒸发之后，剩下的坚硬的固体物质受热后会变得柔

软而富有韧性。这样,它就可以模塑成所需要的各种形状,而且在冷却和变硬之后仍保持原状。于是,就在1865年这一年,硝化纤维素就转变成首批人造**塑料**。而使原来很脆的物质具有可塑性的樟脑就成了第一种**增塑剂**。

使塑料从化学珍品一跃而成为公众所关注的对象,是塑料被引进到台球室这一戏剧性的事件。以前,台球是用象牙做的,而象牙只能从死了的大象身上得到,这自然就产生了问题。19世纪60年代初,有人出10 000美元奖金来征求象牙的最好代用品,这种代用品必须满足对台球的种种要求,如硬度、弹性、抗热、防潮和没有纹理等。许多人跃跃欲试,美国发明家海厄特便是其中之一。开始他的工作毫无进展,直到后来他听说帕克斯有一种妙法能使焦木素变成可塑性物质,然后又变为坚硬的固体,他的工作才有了转机。海厄特着手改进生产这种物质的方法,即少用价格昂贵的乙醇和乙醚,而同时提高温度和压力。到了1869年,海厄特用这种他称之为**赛璐珞**的物质制造出了廉价的台球,从而赢得了这笔奖金。

后来才知道,赛璐珞的用途是多种多样的,远远超出了台球桌的范围。它能够在水的沸点温度下模塑成形;它可以在较低的温度下被切割、钻孔或锯开;它可以是坚硬的团块,也可以制成柔软的薄片(可以用来做衬衫领子、儿童玩具等)。更薄和更韧的薄片可以用作胶状银化合物的片基,这样它就成了第一种实用的照相底片。

赛璐珞有一个缺点,即由于它含有硝酸根,所以非常容易着火,而且燃烧起来异常迅速,特别是做成薄片状时,更是如此。在过去,赛璐珞是引起一系列火灾的原因。

如果用醋酸根代替硝酸根,则会使纤维素变成另一种叫做**醋酸纤维素**的物质。经适当的塑化处理后,这种物质的性能就能与

赛璐珞一样或几乎一样好,此外,它还有不易着火的优点。醋酸纤维素在第一次世界大战前夕投入使用,战后,在底片和其他许多物品的制造方面,完全取代了赛璐珞。

高聚物

赛璐珞问世还不到半个世纪,化学家们便摆脱了必须用赛璐珞作为塑料的基本原料的束缚。早在1872年,拜耳(他后来合成出靛蓝)就发现,当酚和乙醛一起加热时,会得到一种黏稠的树胶状物质。由于他只对由反应分离出来的小分子感兴趣,结果便忽略了留在长颈瓶底部的这种渣滓(19世纪的有机化学家们对于沾污玻璃器皿的渣滓一般都是这种态度)。37年后,在比利时出生的美国化学家贝克兰用甲醛进行了实验,发现在一定的条件下,这种反应会生成一种树脂,而且,如果在压力下继续加热,这种树脂首先变成柔软的固体,继而又变成坚硬而不可溶解的物质。这种树脂在柔软时可进行模塑,而且在变硬后,模塑的形状就永久地保留下来。当树脂变硬后将其研成粉末,装入模子,再通过加热加压可以使之合为一体。利用这种方法,即使是非常复杂的形状,也可以既便当又迅速地压制出来。此外,这种产品一般不受周围环境的影响。

贝克兰用自己的姓氏命名他自己的产品,即命名为**贝克兰树脂**(酚醛塑料)。酚醛塑料属于**热固性塑料**,这种塑料一旦冷却定形之后,就不能再通过加热使之变软(当然,猛烈加热会使之毁坏)。另有一些塑料,如纤维素衍生物,则能反复软化,这种塑料称之为**热塑性塑料**。酚醛塑料有多种用途,如用作绝缘体、胶黏剂和层压剂等等。尽管这种塑料是古老的热固性塑料,但至今仍然是用途最为广泛。

酚醛塑料是在实验室中由小分子制成的第一种有用的高聚

物。化学家们首次圆满地完成了这项特殊任务。当然,这不是血红素和奎宁意义上的合成,因为要合成这两种物质,化学家们必须将排在最后的每一个原子安放在适当的位置,而且几乎是每次只安放1个。制造高聚物则仅要求将构成高聚物的小单元在适当的条件下混合在一起,然后设计一个能够使这些单元自动形成长链的反应就行了,而无须化学家们加以特殊的照料。然而,化学家们能够运用各种方法间接地改变长链的性质,如变换原料的成分或比例,添加少量的酸、碱或各种能够作为**催化剂**并能控制反应的具体性质的物质。

由于成功地制成了酚醛塑料,化学家们自然要转向其他可能的原料,以寻求更多的可以成为有用塑料的合成高聚物。随着时间的推移,他们获得了许多成功。

例如,英国化学家们在本世纪30年代发现,在高温高压条件下,乙烯气体($CH_2=CH_2$)能够形成很长的链。碳原子之间的双键中有1个键打开并与相邻的分子连接。这个过程一次又一次地重复进行,结果就产生了一种叫做**聚乙烯**的长链分子。

石蜡分子也是由乙烯单元构成的一种长链,但聚乙烯分子的链甚至更长。因此,聚乙烯像石蜡,但并不仅仅如此而已。聚乙烯具有石蜡那样的暗白色,有滑腻感、电绝缘性和防水性,比重较小(它大概是能够在水上漂浮的惟一的一种塑料)。而且,在最佳状态下,它比石蜡更坚韧、更柔软。

最初,制造聚乙烯需要具有很大危险性的高压,而且产品的熔点相当低——仅稍高于水的沸点。在低于这个熔点的温度下,它就开始变软,成为毫无用处的东西。显然,这是由于碳链具有分支,从而使分子不能形成密集结晶点阵的缘故。1953年,一位名叫齐格勒的德国化学家发现了一种能生产无分支聚乙烯链的方法,而且这种方法无须使用高压。这种新型聚乙烯比原先的聚乙

烯更柔韧、更坚固,而且在水的沸点温度下也不会变得太软。齐格勒利用一种新型催化剂实现了这一反应。这种催化剂是一种含有金属离子(如铝或钛)的树脂,其中的金属离子与碳链两侧的带负电的原子团相连。

在听说齐格勒为聚合物的形成研究出一种金属有机催化剂之后,意大利化学家纳塔开始将这一技术应用于**丙烯**(连结有1个小的一碳甲基 CH_3的乙烯)。他在10个星期之内就发现了这样的情况,即在所获得的聚合物中,所有甲基都朝着同一方向,而不是随意地朝向一方或另一方(在此之前形成的聚合物大都如此)。这种**等规聚合物**(纳塔的妻子给起的名字)证明具有优良的性能,而且现在已能够随意制取了。换句话说,化学家们已经能够比以往任何时候都更加精确地设计高聚物了。由于齐格勒和纳塔在这一领域所做出的成就,他们分享了1963年的诺贝尔化学奖。

原子弹工程提供了另一种有用的高聚物,它是聚乙烯的另一个新属。为了从天然铀中分离出铀-235,核物理学家们不得不将天然铀与氟结合来生成六氟化铀。氟是所有物质中最活泼的元素,几乎能腐蚀所有物质。在为装氟的容器寻找能不受氟腐蚀的润滑剂和密封剂的过程中,物理学家们选中了**碳氟化合物**——碳已经与氟(取代氢)结合的物质。

直到那时,碳氟化合物仍然是实验室中的珍品。直到1926年,人们才获得了纯净的**四氟化碳**(CF_4)——这类分子中的第一种(也是最简单的一种)分子。目前,化学家们仍在努力研究这些有意义的物质的化学性质。在已经研究过的碳氟化合物中,其中之一是1933年首次合成的**四氟乙烯**($CF_2=CF_2$),可以看出,它实际上是4个氢原子被4个氟原子所取代的乙烯。这就必然会使人们想到,四氟乙烯也应像乙烯那样,能形成聚合物。第二次世界大战之后,杜邦公司的化学家们制造出了一种长链聚合物,正如聚乙

烯是 $CH_2CH_2CH_2$……的单调地重复一样，这种聚合物也是 $CF_2CF_2CF_2$……的单调地重复。这种聚合物的商品名称是特氟隆。

特氟隆与聚乙烯相似，但并不仅此而已。碳-氟键比碳-氢键更牢固，因而也就更不易受环境的影响。特氟隆不溶于任何物质，不会被任何物质所弄湿，是优良的电绝缘体，其耐热性甚至比新型的、经过改进的聚乙烯还要好。就家庭主妇而言，特氟隆最为人所熟知的用途便是用作煎锅的衬里，这样就能使要煎炸的食物不会过分油腻，因为食物不会粘在不同任何物质亲和的碳氟聚合物上。

还有一种有趣的化合物，它并不是真正的碳氟化合物，而是本书前面提到的氟里昂（CF_2Cl_2）。它是 1932 年作为致冷剂所推销的商品。它比大型制冷装置所使用的氨或二氧化硫要昂贵；但从另一方面看，氟里昂无臭、无毒、不可燃，因而偶然漏失所造成的危险是很小的。为了证明氟里昂的无害性，它的发现者米奇利深深地吸了一口氟里昂，然后在一根点燃的蜡烛上方缓缓吐出，结果蜡烛熄灭了，而米奇利毫无损害。正是由于采用了氟里昂，室内空调才成了第二次世界大战以来美国这个地方的一大特色。

玻璃和硅酮

当然，可塑性并不仅仅属于有机界。在所有可塑性物质中，最为古老的是玻璃。玻璃的大分子实质上是由硅和氧的原子所组成的长链：-Si-O-Si-O-Si-O-Si-，以此排列，没有穷尽。链中的每一个硅原子都有两个尚未使用的价键，可以用来连接其他原子团。硅原子像碳原子一样，具有 4 个价键。然而，硅-硅键不如碳-碳键那样牢固，因此只能形成短链，而且这些短链（在化合物中称为**硅烷**）很不稳定。不过，硅-氧键却很牢固，由此形成的链甚至比由碳-碳键形成的链还要稳定。事实上，由于地壳有半数是氧，1/4是硅，我

们脚下那坚实的大地实质上可以看作是由硅-氧链组成的。

尽管玻璃的优点和用途不胜枚举，但它有一个很大的缺点，就是容易破碎。玻璃被打碎时坚硬而锐利的碎片会四处飞散，十分危险，甚至能致人于死命。如果用未经处理的玻璃做汽车的风挡，一旦发生撞车事故，玻璃的碎片就会像榴霰弹一样飞向四面八方。

然而，玻璃也可加工处理，如在两层玻璃中间加一薄层透明的聚合物(作为一种胶黏剂加固玻璃)，于是就产生了**安全玻璃**。之所以称为安全玻璃，是因为它即使碎成粉末，碎片也会被聚合物牢牢地黏住，不会飞散伤人。起初(这要追溯到 1905 年)，人们就曾用火棉胶作黏结剂，但如今大部分都已用由小分子如氯乙烯(氯乙烯与乙烯类似，所不同的是乙烯分子中的 1 个氢原子被氯原子所取代)所构成的聚合物代替。乙烯基树脂不会因光照而变色，因此能够确保安全玻璃不致因年深日久而发黄。

有些透明塑料可以安全代替玻璃，至少在某些应用领域是如此。本世纪 30 年代中期，杜邦公司合成了一种叫做**甲基丙烯酸甲脂**的小分子，并将所得到的聚合物(**聚丙烯酸塑料**)压制成光亮、透明的薄片。这些产品的商品名称叫做普列克斯玻璃和路塞特树脂。这类**有机玻璃**比普通玻璃轻，更易模塑成形，也不那么脆；破碎时，仅仅是破裂而不是粉碎。在第二次世界大战期间，模塑成的透明塑料薄片得到了重要的应用，那就是作为飞机的窗户和座舱的罩。在这方面，轻质和韧性具有特殊的价值。当然，聚丙烯酸塑料也有其缺点：它们能被有机溶剂腐蚀，受热时比玻璃更易软化，而且容易出现擦痕。例如，当聚丙烯酸塑料用作汽车风挡时，在尘埃颗粒的撞击下会很快出现擦痕，而且变得模糊不清，而这是非常危险的。因此，看来玻璃永远不会被完全取代。事实上，现在玻璃确实已具有许多新的用途。玻璃纤维可以纺成细线，它像有机纤

维一样柔软,并且有一个可贵的优点——绝对不会着火。

除这些玻璃代用品外,还有一种可称之为“类玻璃”的产品。我在前面说过,在硅-氧链中,每个硅原子都有两个空闲的键来连接其他原子。在玻璃中,这些“其他原子”是氧原子,但并不一定非是氧原子不可。如果所连接的不是氧原子,而是含碳的原子团,那情况又会怎样呢?这时你会得到一种带有有机分支的无机物链,也就是说,得到一种介于有机物与无机物之间的中间物。早在1908年,英国化学家基平就合成了这样的化合物,即大家都知道的**硅酮**。

在第二次世界大战期间,各种长链的**硅酮树脂**大量涌现。这些硅酮的耐热性要优于纯有机聚合物。通过改变主链的长度和侧链的性质,可以获得玻璃所不具有的一系列理想的性能。例如,某些硅酮在室温条件下是流体,其黏度在相当大的温度范围内变化极小,也就是说,它们既不随温度的升高而变稀,也不随温度的降低而变稠。对于液压流体——如用于飞机起落架的那种流体——来说,这是一种特别有用的性能。另一些硅酮可以制成柔软的、与油灰类似的封泥,这种灰泥在同温层的低温下既不变硬,也不开裂,而且防水性能良好。还有一些硅酮可作为抗酸润滑剂,等等。

合成纤维

在有机合成的故事中,有关合成纤维的章节具有特殊的趣味。第一批人造纤维(同第一批塑料一样)是以纤维素为原料制成的。化学家们自然是从硝化纤维素开始,因为它有足够的数量可以利用。1884年,法国化学家夏尔多内将硝化纤维素溶解于乙醇和乙

醚的混合物中，并迫使所得到的黏稠液体通过一些小孔喷出。在这种液体喷出之后，乙醇和乙醚随之蒸发，于是便剩下胶棉细线似的硝化纤维素。（这实际上就是蜘蛛织网和春蚕吐丝的那种方式：它们从身体上的小孔中喷吐出一种黏液，这种黏液遇空气而变成固态纤维。）这种硝化纤维素纤维太容易着火，不宜使用。不过，通过适当的化学处理能够去掉硝酸根，结果便得到了一种外观像蚕丝一样的带有光泽的纤维素细丝。

然而，夏尔多内的方法并不实用。且不说有硝酸根存在的中间阶段非常危险，也不说用作溶剂的乙醇和乙醚的混合物极易着火，单是将硝酸根加上去又去掉这一点，这种方法就十分费钱。1892 年，人们发现了一些溶解纤维素的方法。例如，英国化学家克罗斯将纤维素溶解于二硫化碳，并将所得到的黏稠液体（叫做**黏胶**）做成细丝。麻烦的是，二硫化碳易燃、有毒且气味难闻。1903 年，一种有竞争力的方法投入使用。这种方法以醋酸作为溶剂的一部分，生产出一种叫做**醋酸纤维素**的物质。

这些人造纤维被称为**人造丝**。人造丝主要有两个品种，通常分为**黏胶人造丝**和**醋酸人造丝**。

顺便提一下，如果将黏胶通过一条狭缝挤压出去，就会得到一种柔软、透明和防水的薄膜——**玻璃纸**。这种方法是法国化学家布兰登伯热于 1908 年发明的。一些合成的聚合物同样也能够通过一条狭缝挤压成薄膜。例如，乙烯基树脂能制成名为**萨纶**的覆盖物。

直到本世纪 30 年代，才出现第一批完全合成的纤维。

让我先讲一点有关蚕丝的故事。蚕丝是由蚕蛾的幼虫——蚕——所吐的丝。蚕对食物要求极严，而且需要精心照料。蚕丝必须从蚕茧上小心地抽取下来。由于这些缘故，蚕丝十分昂贵，而且不能大量生产。早在两千多年前，中国便开始生产蚕丝，而且中

国人对生产蚕丝的方法严加保密，以便在出口中保持有利的垄断地位。然而，秘密终有泄漏之日，尽管采取了种种保密措施，养蚕缫丝的秘密还是流传到了朝鲜、日本和印度。古罗马是通过横贯亚洲的漫长的陆路输入蚕丝的，由于经纪人一路上步步设卡抽取通行税，所以蚕丝到那里后非常昂贵，除了豪门巨富，一般人是可望而不可及的。550 年，蚕子被偷偷地带进君士坦丁堡，从此欧洲便开始了蚕丝生产。尽管如此，蚕丝在不同程度上仍然属于奢侈品。另外，直到目前为止，蚕丝仍然没有好的代用品。人造丝固然具有与蚕丝相似的光泽，但却不及蚕丝纤细、柔韧。

蚕丝是一种蛋白质(见第十二章)。蛋白质的分子是由一种叫**氨基酸**的单体构成的，而氨基酸则含有 1 个**氨基**和一个**羧基**。氨基与羧基通过二者之间的 1 个碳原子相连接；如果以 a 表示氨基，以 c 表示羧基，再用短线表示中间的碳原子，我们就可以把氨基酸写作：a—c。这些氨基酸以从头至尾的方式聚合起来，也就是说，前面的 1 个氨基同后面的 1 个羧基缩合，这样便成了蚕丝分子：……a—c、a—c、a—c、a—c……

本世纪 30 年代，杜邦公司的化学家卡罗瑟斯对一些含有氨基和羧基的分子进行了研究，希望借此找到一种较好的方法，将它们缩合成具有大环结构的分子。(这类分子对于香料制造业是很重要的。)与他的愿望相反，他发现这些分子缩合成了长链分子。

卡罗瑟斯早已预料到可能会出现长链分子，因此没有错过这一机会。他立即对此作了进一步的研究，最后用已二酸和已撑二胺制成了纤维。已二酸分子含有两个羧基，中间被 4 个碳原子隔开，因此可以用 c————c 表示。已撑二胺由两个氨基构成，中间被 6 个碳原子隔开，因此可写为；a——————a。当卡罗瑟斯将这两种物质混在一起时，它们就缩合成具有下列结构的聚合物：……a——————a.c————c.a—————

—a.c————c.a———————a……可以看出，用点标出的缩合部位具有与蚕丝相同的构型“c.a”。

最初生产的纤维并不是很好，主要是强度太差。卡罗瑟斯断定，问题就出在缩合过程中所生成的水上。水的存在产生了一个相反的作用——水解反应，它使聚合反应不能持续很久。卡罗瑟斯找到了一种补救办法，即让聚合反应在低压下进行，这样水就会蒸发并很容易被清除掉(在邻近反应液体上方斜放一块冷却的玻璃板，水蒸气就会凝结在上面并自行流走，这种装置叫做**分子蒸馏器**)。这样，聚合反应就能不断地进行下去，并形成很长的直链。1935 年，卡罗瑟斯终于为合成理想的纤维奠定了基础。

将由己二酸和己撑二胺缩合而成的聚合物熔化，再通过许多小孔挤压出来，然后再经过拉伸，使纤维平行地排列起来，并成为晶束似的纤维束。这样就得到了一种与蚕丝相似的带有光泽的细丝，它可以织成像丝绸一样轻柔美观、甚至比丝绸还要结实的织品。用这种方法生产的第一批完全合成的纤维叫做**尼龙**。然而，卡罗瑟斯未能看到他的发现所结出的硕果，他于 1937 年就去世了。

杜邦公司于 1938 年宣布合成纤维问世，并于 1939 年开始进行商业性生产。在第二次世界大战期间，美国陆军部队收购了全部尼龙产品，用以制造降落伞和百余种其他军需品。战后，尼龙在制袜业上完全取代了蚕丝，因此，妇女的长袜现在叫做**尼龙袜**。

尼龙的合成为许多其他合成纤维的生产开辟了道路。丙烯腈，或称为乙烯基氰化物($CH_2=CHCN$)，也可以聚合成与聚乙烯类似的长链，所不同的是，与每个单元中第二个碳原子相连的是氰基(在这里它是完全无毒的)。这种产品叫做**奥纶**，1950 年投入使用。如果再添加上氯乙烯，则最终的长链既含有氯原子，又含有氰基，这就是**氯丙纶**(达耐尔)。如果通过使用醋酸乙烯($CH_2=$

$CHOOCCH_3$)来添加醋酸根,则产品就是**醋丙纶**(阿克利纶)。

英国于1941年制造出了**聚酯**纤维。这种纤维是由一个单体的羟基同另一个单体的羟基缩合而成的长链。这种产物就是通常的那种由碳原子构成的长链,只是每隔一定的距离插入1个氧原子。这种产品在英国叫做**涤纶**,在美国则叫做**大可纶**。

这些新型合成纤维的防水性能比大多数天然纤维好,而且不怕潮湿,不易沾污,不遭虫蛀。某些合成纤维不会起皱,可用来纺织成"耐洗耐磨"的织品。

合成橡胶

如果有人告诉你,人类使用橡胶轮子的历史不过一百来年,你会感到非常吃惊。在过去的几千年间,人们所坐的车使用的一直是木制轮子,或者再在轮子周围加上金属轮辋。在古德伊尔发明了实用的硫化橡胶之后,许多人都曾想到,应该用橡胶代替金属来包裹车轮。1845年,英国工程师R.W.汤姆森出了个好主意,他在车轮周围套上一个合适的充气橡胶管,并获得了这项设备的专利。到了1890年,**轮胎**被正式用在自行车上;到了1895年,被用在各种老式汽车上。

令人惊奇的是,尽管橡胶是一种柔软而易破损的物质,但却比木头或金属更加耐磨。橡胶的耐用、减震等性能,加上充气轮胎的巧妙设计,使乘车的人觉得比以往任何时候都更加舒适。

随着汽车数量的大量增加,用于制造轮胎的橡胶的需求量也变成了天文数字。在最近的半个世纪内,全世界的橡胶产量增长了42倍。只要我告诉你这样一个事实,你就可想象今天用于制造

轮胎的橡胶的数量：仅在美国，每年在公路上磨损掉的橡胶就不下20万吨，尽管每辆汽车磨损掉的橡胶的数量是相当少的。

橡胶需求量的不断增加，给许多国家的战略物资的储备带来了一定程度的危机。随着战争的机械化，军队和军需物资都开始用装有橡胶轮胎的车辆来运输。然而，那些最有可能参加“文明”战争的“文明”国家，却又都远离惟一能够大量供应橡胶的马来半岛（马来半岛并不是橡胶的原产地，这里的橡胶树是从巴西移植来的，但却生长得非常好，而原产地巴西的橡胶产量却逐年下降）。美国的橡胶供应在它开始参加第二次世界大战的初期便被切断，那时日本已经侵占了马来西亚。但美国在这方面早有戒备，因此，甚至在日本偷袭珍珠港之前，战时实行的第一种定量配给物资就是橡胶轮胎。

甚至在机械化刚刚起步的第一次世界大战中，德国就曾因为协约国的海军切断了橡胶供应而运转不灵。

那时已经有理由考虑制造合成橡胶的可能性。这类合成橡胶的天然原料自然是天然橡胶的结构单元——异戊二烯。早在1880年，化学家们就发现，异戊二烯放置过久就会变软发黏，经酸化处理后则会变成类似橡胶的物质。德皇威廉二世曾让人用这种物质制成皇家汽车的轮胎，借以炫耀德国化学方面的高超技艺。

然而，用异戊二烯作为合成橡胶的原料，有两个困难：第一，异戊二烯的主要来源正是橡胶本身；第二，异戊二烯在聚合时往往是毫无规律地排列起来。在橡胶长链中，所有的异戊二烯单元都朝向同一方向：……uuuuuuuuu……而在固塔坡胶长链中，它们则是严格地按照一正一反的方向排列的：……ununununun……然而，如果在实验室中以通常的条件使异戊二烯聚合，则u和n就会毫无规律地混合在一起，形成一种既不是橡胶也不是固塔坡胶的物质。由于这种物质缺少橡胶的弹性和柔性，所以不能用来制造汽

车轮胎(仅用于国事活动的皇家汽车当然是个例外)。

后来,一些与1953年齐格勒在制取聚乙烯时使用过的催化剂类似的催化剂,终于使人们有可能将异戊二烯聚合成与天然橡胶几乎完全相同的产品。不过当时已经研制出许多种具有实用价值的、化学性质与天然橡胶极不相同的合成橡胶。

人们自然是首先用一些既与异戊二烯相似而又容易获得的化合物来制造聚合物。例如,在第一次世界大战期间,迫于橡胶匮乏,德国人采用了二甲基丁二烯:

$$\begin{array}{l}CH_2{=}C{-}C{=}CH_2\\ \qquad\ \ |\quad\ \vdots\\ \qquad CH_3CH_3\end{array}$$

二甲基丁二烯与异戊二烯的不同之处在于,前者的4碳链的中间两个碳原子各连接1个甲基(CH_3),而后者只有1个碳原子与甲基相连。由二甲基丁二烯聚合而成的化合物称为**甲基橡胶**,这种橡胶可以大量生产,而且价格低廉。在第一次世界大战期间,德国大约生产了2 500吨甲基橡胶。尽管这种橡胶的耐压性能不理想,但它毕竟是第一种具有实用价值的合成橡胶。

大约在1930年,德国和苏联都采取了新的方针,利用根本不带甲基的丁二烯作为单体:

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$$

这两个国家以金属钠作为催化剂,合成了一种叫做**丁钠橡胶**的聚合物。

作为一种合成橡胶,丁钠橡胶对于应付橡胶匮乏而言还算是令人满意的。添加其他单体(它们在长链中与丁二烯相间地排列起来)可以改善丁钠橡胶的性能。最成功的添加物是**苯乙烯**,这是一种与乙烯相似的化合物,但其中的1个碳原子连接着1个苯环。这种产品叫做**丁苯橡胶**,性质与天然橡胶极其相似。事实上,在第

二次世界大战期间,德国军队就是因为有丁苯橡胶,橡胶供应才没有出现严重短缺现象。苏联也曾用同样的方法向自己的军队提供橡胶。丁苯橡胶的原料可由煤或石油获得。

美国以商业规模来开发合成橡胶开始得较晚,因为在 1941 年之前,它从未感受到橡胶短缺的威协。但是,在珍珠港事件之后,美国便开始全力以赴地发展合成橡胶事业。它首先生产的是丁钠橡胶和**氯丁橡胶**。后者是由**氯丁二烯**聚合而成的:

$$\begin{array}{l} CH_2{=}C{-}CH{=}CH_2 \\ \quad\quad\ \ | \\ \quad\quad\ Cl \end{array}$$

可以看出,这个分子很像异戊二烯,所不同的只是氯原子代替了甲基。

连接在聚合物长链上的氯原子使氯丁橡胶具有天然橡胶所不具备的一些抗腐蚀性能。例如,它对于汽油之类的有机溶剂具有较高的抗腐蚀性能,远不像天然橡胶那样容易软化和膨胀。因此,像导油软管这样的用场,氯丁橡胶实际上比天然橡胶更为适宜。氯丁橡胶首次清楚地表明,正如在许多其他领域一样,在合成橡胶领域,试管中的产物并不一定只能充当天然物质的代用品,它的性能能够比天然物质更好。

现在,人们已在生产多种化学结构与天然橡胶迥然不同但弹性与之相似的无定形聚合物,它们具有人们所需要的一系列优良性能。由于这类聚合物实际上并不是橡胶,所以它们被称之为**弹料(弹性聚合物)**。

第一种不像橡胶的弹料在 1918 年制成,这就是**聚硫橡胶**。它的分子是由碳原子对和四硫原子团相间排列而构成的长链。由于在制备聚硫橡胶时会产生难闻的气味,所以它曾长期被搁置一旁,但是,后来它还是被投入了商业性生产。

弹料还可以由丙烯单体、氟化碳和硅酮来合成。在这个领域，正如人们所接触的几乎所有领域一样，有机化学家们犹如艺术大师，利用已有的材料创造出各种新型物质，并创造出比天然物质更好的物质。

（程席法 译）

第十二章　蛋白质

氨基酸

在研究生命物质的初期，化学家们就发现了一类性质奇特的物质。在加热时，这类物质由液态变为固态，而不是由固态变为液态。蛋清、奶里面的**酪蛋白**和血液里的**球蛋白**，就是呈现这种特性的物质。1777 年，法国化学家麦夸尔把所有加热后凝固的物质归为特殊的一类，称之为**蛋白物质**，罗马《**博物志**》编纂家普林尼曾把蛋清叫做**清蛋白**。

当 19 世纪的有机化学家们着手分析蛋白质的时候，发现这些化合物比其他有机分子复杂得多。1839 年，荷兰化学家穆尔德得出了一个基本式子：$C_{40}H_{62}O_{12}N_{10}$，他认为这是蛋白物质共有的一个通式，只要在这个基本式子中加入一些含硫或含磷的基团，就可以形成各种蛋白化合物。穆尔德把这个基本式子命名为**蛋白质**（这个词是由希腊语转化来的，意思是“头等重要的”）。当时使用这个词，大概只是为了表明这个基本式子在决定蛋白质的结构方面是头等重要的；但是后来事物发展的结果证明，用这个词来表示这些物质本身也是非常贴切的。自从知道了蛋白质以后，人们很快就发现蛋白质对于生命是极为重要的。

在穆尔德工作后 10 年内，李比希证实，对于生命来说蛋白质

的作用甚至比碳水化合物或脂肪更为重要：蛋白质不仅供给碳、氢、氧，而且供给碳水化合物或脂肪中所没有的氮和硫，还经常供给磷。

穆尔德等人企图找出蛋白质的完整实验式，这种企图在当时是注定要失败的。蛋白质分子太复杂了，当时所用的方法是分析不了的。但是，人们已经开始从另一个方面对蛋白质进行研究，最后不仅揭示出了蛋白质的组成，而且揭示出了蛋白质的结构。化学家们开始了解到了蛋白质结构单元的一些情况。

1820年，布拉孔诺把纤维素在酸中加热（见第十一章）成功地分解成葡萄糖单元后，决定用同样的方法处理一下白明胶（一种蛋白物质）。处理的结果得到了一种甜的结晶物质。虽然布拉孔诺最初怀疑这种物质是糖，但是后来证明这种物质不是糖，而是一种含氮的化合物，因为从这种物质中可以得到氨（NH_3）。现在人们把布拉孔诺分离出来的这种化合物叫做**甘氨酸**（源自希腊语“甜”）。

此后不久，布拉孔诺把肌肉组织在酸中加热，得到了一种白色的结晶物质。他把这种物质命名为**亮氨酸**（源自希腊语“白”）。

后来，当甘氨酸和亮氨酸的结构式被确定以后，人们发现它们基本上是相似的：

$$NH_2—CH_2—C\begin{matrix} \diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown OH \end{matrix}$$

甘氨酸

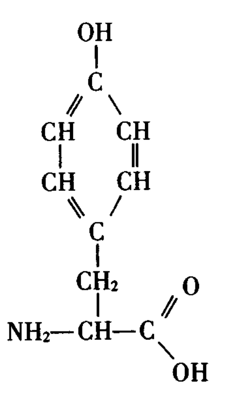
$$\begin{matrix} CH_3 \quad CH_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ CH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ NH_2—CH—C\begin{matrix} \diagup\!\!\!\!= O \\ \diagdown OH \end{matrix} \end{matrix}$$

亮氨酸

可以看出，每种化合物在两端各有一个氨基和一个羧基。因

为凡是含有羧基的分子羧基都会使之具有酸性，所以这些分子被命名为**氨基酸**。氨基和羧基之间由单个碳原子连接的氨基酸叫做α-氨基酸。甘氨酸和亮氨酸都是α-氨基酸。

随着时间的推移，化学家们又从蛋白质中分离出其他的α-氨基酸。例如，李比希从奶的蛋白质（酪蛋白）中得到一种他称之为**酪氨酸**的α-氨基酸：



酪氨酸

各种α-氨基酸之间的差异，完全取决于连接在氨基和羧基之间那个单个碳原子上的原子团的性质。例如，最简单的氨基酸——甘氨酸，其碳原子上只连接有一对氢原子。其他的氨基酸都有一条含碳的侧链连接在那个碳原子上。

下面我只再介绍一种氨基酸的分子式，这对讨论本章后面的一些问题会有所帮助。这种氨基酸就是德国化学家默尔内尔1899年发现的**胱氨酸**。这是一个有两个头的分子，含有两个硫原子：

```
              O
             //
NH2—CH—C
     |      \
     CH2     OH
     |
     S
     |
     S
     |
     CH2     O
     |      //
NH2—CH—C
            \
             OH
```

胱氨酸

实际上，英国化学家渥拉斯顿1810年从膀胱结石中首次分离出胱氨酸；因此才根据希腊语“膀胱”一词命名为胱氨酸。默尔内尔所做的工作只是证明，这种有百年历史的化合物不仅是膀胱结石里的一种物质，也是蛋白质的一种组分。

胱氨酸很容易**还原**，就是说，很容易在S-S键的地方添加两个氢原子。于是，分子分裂成两半，每一半含有一个巯基。这种被还原的两半叫做**半胱氨酸**，半胱氨酸很容易被氧化成胱氨酸。

巯基的一般脆性对一些蛋白质分子的功能是重要的。对生命最为重要的化学物质的特点，就是在轻微的刺激下能够保持微妙的平衡，并能够以某种方式移动。巯基便是有助于形成这种能力的原子组合的一部分。

目前已经鉴定出的重要氨基酸(即在大多数蛋白质中存在的)共计19种。其中最后一种是由美国化学家W.C.罗斯于1935年发现的。今后不大可能再发现任何其他共同的氨基酸了。

胶体

到 19 世纪末，生物化学家已经确定，蛋白质是由氨基酸组成的大分子，正如纤维素是由葡萄糖构成、橡胶是由异戊二烯构成的一样。但是，这里有这样一个重要的差别：纤维素和橡胶是由一种结构单元组成的，而一种蛋白质是由许多不同的氨基酸组成的。因此，要想确定蛋白质的结构就要解决一些特殊而微妙的问题。

第一个问题就是要弄清楚在蛋白链分子中氨基酸到底是怎样连接在一起的。E. 费歇尔首先开始研究这个问题。他把一个氨基酸的羧基总是与下一个氨基酸的氨基相连接，从而把一些氨基酸连接成链。1901 年，他首次完成了这种缩合，去掉一个分子的水，把一个甘氨酸分子与另一个甘氨酸分子连接在一起。

$$NH_2-CH_2-C(=O)-OH + NH_2-CH_2-C(=O)-OH$$
$$\downarrow$$
$$NH_2-CH_2-C(=O)-NH-CH_2-C(=O)-OH + H_2O$$

这是最简单的缩合。1907 年，E. 费歇尔合成了由 18 个氨基酸组成的一条链，其中 15 个是甘氨酸，其余 3 个是亮氨酸。这个分子显示不出任何明显的蛋白质特性，但是 E. 费歇尔认为，这只是因为这条链不够长。他把他合成的链称做**肽**（这个词源自希腊语，意思是“消化”），因为他认为当蛋白质被消化时会分解成这种成分。E. 费歇尔把羧基的碳与氨基的组合命名为**肽键**。

1932 年，德国生物化学家伯格曼（E. 费歇尔的一名学生）设计了一种由各种氨基酸构成肽的方法。波兰血统的美国生物化学家费鲁顿用伯格曼的方法制备了一些肽，这些肽可以被消化液分解成较小的碎片。由于已有充分的理由认为，消化液只能水解（加

水后分解)分子的一个键,所以合成肽中氨基酸之间的键必定与真正蛋白质中连接氨基酸的键相同。对于费歇尔蛋白质结构肽键理论的正确性人们一直存有怀疑,这个证明消除了人们的疑虑。

在20世纪早期的几十年中,合成的肽仍然非常小,在性质上完全不像蛋白质。E.费歇尔曾经制备了一个具有18个氨基酸的肽,我在前面已经讲过了;1916年,瑞士化学家阿伯德哈顿制备了一个有19个氨基酸的肽,比E.费歇尔的多一个氨基酸,但是这个记录保持了30年。当时化学家们已经知道,这种肽与蛋白质分子比较起来,确实只是一个微小的碎片,因为蛋白质的分子量是非常大的。

例如,让我们来看一看血液中的一种蛋白质——血红蛋白。血红蛋白含有铁,而铁仅占分子量的0.34%。化学证据表明,血红蛋白分子含有4个铁原子,其总分子量大约为67 000;4个铁原子的总重量为4×55.85,约占这种分子分子量的0.34%。因此,血红蛋白一定含有大约550个氨基酸(氨基酸的平均分子量约为120)。把这个数字与阿伯德哈顿的19个氨基酸相比,就可以看出他合成的肽小得微不足道了,而血红蛋白只是一般大小的蛋白质。

对蛋白质分子量的精确测量是通过让蛋白质在**离心机**内旋转而得到的。离心机是利用离心力把粒子从中心向外推的一种旋转装置(图12-1)。当离心力大于地球引力时,悬浮在溶液中的粒子就会从中心向外沉降,其速率大于在重力作用下沉降的速率。例如,在这种离心机中,红血球会很快地沉降出来,而鲜牛奶会分离成两部分:奶油和较重的脱脂奶。在一般的重力下,这些特殊的分离也会发生,但是离心作用加快了这种分离过程。

虽然蛋白质分子是非常大的,但是它们还没有重到在重力下能从溶液中沉淀出来的程度;也不能在一般的离心机中迅速沉降

出来。但是1923年,瑞典化学家斯韦德贝里发明了一种能够把分子按重量分开的**超速离心机**。这种高速装置每秒钟旋转1万多圈,产生的离心力达到地面重力的9万倍。由于斯韦德贝里在研究悬浮物体方面的贡献,他获得了1926年的诺贝尔化学奖。

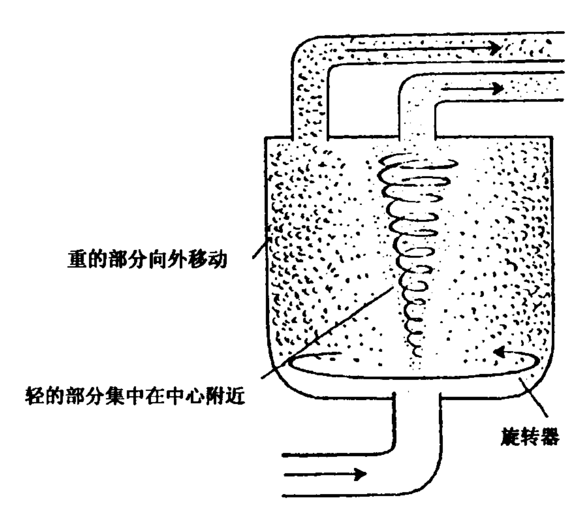


图12-1　离心机的原理

利用超速离心机,化学家们能够根据沉淀的速率确定一些蛋白质的分子量(为了纪念这位化学家,沉淀速率的测量单位称为**斯韦德贝里**)。结果表明,小的蛋白质的分子量只有几千,所含的氨基酸大概不超过50个(仍然明显地多于19个)。其他蛋白质的分子量达几十万甚至几百万,就是说它们一定是由几千个或几万个氨基酸组成的。蛋白质含有如此巨大的分子,所以从19世纪中叶以来才被列为系统研究的一类物质。

苏格兰化学家格雷姆由于对**扩散**感兴趣而成了这个领域的先驱。两种物质的分子接触时就会以扩散的方式互相混合。他是由研究气体通过小孔或细管的扩散速率开始的。到1831年,他能够

证明，一种气体的扩散速率与其分子量的平方根成反比(**格雷姆定律**)。(顺便说一下，人们正是利用格雷姆定律将铀-235与铀-238分离的。)

在以后的几十年中，格雷姆转而研究被溶解物质的扩散现象。他发现，像盐、糖、硫酸铜等化合物的溶液能够透过大块的羊皮纸(大概羊皮纸上有普通显微镜看不见的小孔)。而像阿拉伯树胶、胶、白明胶等物质的溶液却透不过去。显然，后一类物质的大分子不能穿过羊皮纸上的小孔。

格雷姆把能够穿过羊皮纸的物质叫做**拟晶体**(正好我们容易得到它们的晶体)。那些不能穿过羊皮纸的物质，如胶，他称之为**胶体**。于是，对大分子(或大原子团，尽管这些原子团未形成独特的分子)的研究便被称为**胶体化学**。因为蛋白质和活组织中的其他重要分子都很大，所以胶体化学对**生物化学**(对活组织中进行的化学反应的研究)有着特别重要的意义。

蛋白质分子很大，对此可以多方面加以利用。假如一张羊皮纸的一边是纯水，另一边是蛋白质的胶体溶液。蛋白质分子不能通过羊皮纸，而且它们还堵塞了一些水分子的通道(如果没有它们堵塞的话，这些水分子本来是可以通过的)。因此，水通过羊皮纸进入胶体溶液要比从胶体溶液中渗透出来容易。结果，蛋白质溶液一边的液体增多，形成一种**渗透压**。

1877年，德国植物学家普费弗尔告诉人们怎样测量这种渗透压，并根据这种渗透压来确定大分子的分子量。这是估计大分子分子量的第一个比较好的方法。

同样，蛋白质溶液也可以放入用**半透膜**制作的袋子中(这种膜上有小孔，只让小分子通过，而不让大分子通过)。如果把这些袋子放入流动的水中，小分子和离子就会通过膜而被水冲走，而把大蛋白质分子留下来。这种**透析**过程就是纯化蛋白质溶液的最简单

的方法。

胶体般大的分子足以使光线散射，小分子却不能。不仅如此，短波光线比长波光线散射得更厉害。1869年，爱尔兰物理学家廷德尔首先注意到这种效应，因此，人们称这种效应为**廷德尔效应**。天空为什么是蓝色的？现在的解释是，这是大气中的尘埃颗粒对短波阳光的散射效应造成的。在日落时，由于日间的活动，大气中的灰尘特别多，当光线穿过这样一层较厚的大气时，大量的光线被散射掉，留下的主要是红色和橙色的光，于是形成火烧云的壮丽景象。

由于通过胶体溶液的光线被散射，所以从侧面看上去像一个明显的光锥。晶状体物质的溶液被照射时没有明显的光锥出现，因此被称为**光学透明**。1902年，奥地利血统的德国化学家席格蒙迪利用这种观察设计了一种**超显微镜**，可以垂直观察胶体溶液，使单个颗粒呈现为明亮的光点（单个颗粒太小，用普通显微镜看不到）。由于这方面的努力，他获得了1925年的诺贝尔化学奖。

蛋白质化学家希望能制造出蛋白质，当然渴望能够合成长的**多肽**链。但是E. 费歇尔和伯格曼的方法每次只能增加一个氨基酸，当时认为用这种方法合成长的多肽链是完全行不通的。因此需要一种方法能够在链反应中把多个氨基酸连接起来，如同贝克兰在制造高聚合塑料时所使用的方法一样。1947年，以色列化学家卡查斯基和哈佛的化学家R.B. 伍德沃德（合成奎宁的那个人）都报道说，他们通过链反应的聚合作用成功地制造出了多肽。他们开始用的原料是一种稍微改变了的氨基酸（这种改变在反应过程中正好被完全消除）。由此开始，他们合成了由上百个甚至上千个氨基酸组成的多肽。

这些链通常只有一种氨基酸如甘氨酸或酪氨酸组成的，因此被称为**多聚甘氨酸**和**多聚酪氨酸**。如果开始时使用两种不同氨基

酸的混合物，也可以合成链中含有两种不同氨基酸的多肽。但是，这些合成的多肽只与最简单的一种蛋白质如**丝心蛋白**(蚕丝中的蛋白质)相似。

多肽链

有些蛋白质像纤维素或尼龙一样，既具有纤维状又具有晶体状；例如，丝心蛋白、角蛋白(毛发和皮肤里的蛋白质)和胶原蛋白(腱和结缔组织中的蛋白质)。德国物理学家赫佐格通过显示这些物质能够衍射 X 射线，从而证明了它们的结晶度。另一位德国物理学家布里尔分析了衍射图，从而确定了多肽链中原子的间距。20 世纪 30 年代，英国生物化学家阿斯特伯里等人利用 X 射线衍射进一步了解了多肽链的结构。他们能够相当精确地计算出相邻原子之间的距离和相邻的键所成的角度。他们还了解到，丝心蛋白的链是完全伸展的，就是说，这些原子间键的角度能够使它们几乎排列在一条直线上。

多肽链的这种完全伸展是一种最简单的排列，叫做 β **构型**。当毛发被拉紧时，角蛋白分子就会像丝心蛋白分子一样呈这种构型。(如果把毛发弄湿，就可拉伸到原来的 3 倍长。)但是在通常不拉伸的状态下，角蛋白分子显示出比较复杂的排列，称为 α **构型**。

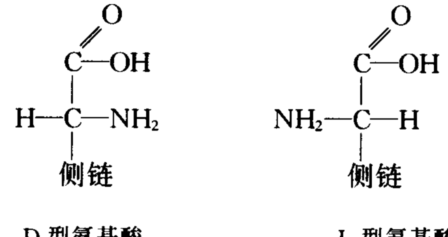
1951 年，加利福尼亚理工学院的泡令和科里提出，α-构型的多肽链呈**螺旋形**(类似螺旋楼梯)。为了弄清原子之间所有的键在未拉紧的自然取向的状态下 α-构型的排列情况，他们设计了各种模型，最后确定螺旋的每一圈具有 3.6 个氨基酸的长度，即相当于 5.4 埃。

什么东西能够使一个螺旋保持它的形状呢？泡令认为，这种东西就是所谓的**氢键**。我们已经看到，当 1 个氢原子连接到 1 个氧原子或 1 个氮原子上的时候，氧原子或氮原子占用了大部分成

键电子，因而氢原子略带正电荷，而氧原子或氮原子略带负电荷。在螺旋中，在螺旋转弯上或下的1个氧原子或1个氮原子附近，有1个氢原子周期性地出现，靠近氧原子或氮原子。略带正电的氢原子被略带负电的邻居所吸引。这种吸引力虽然只有一般化学键吸引力的1/20，但足以使螺旋保持其形状了。可是，牵拉纤维很容易使螺旋展开，于是将纤维拉长。

至此，我们只是讨论了蛋白质分子的主链，即……CCNCC-NCCNCCN……型的链，氨基酸的各种侧链在蛋白质结构中也起着重要的作用。

除甘氨酸外，所有的氨基酸都至少有一个不对称的碳原子，即在羧基和氨基之间的那个碳原子。所以每一种氨基酸都可以以两种旋光异构体存在。这两种异构体的通式是：



D-型氨基酸　　　　L-型氨基酸

但是，化学分析和X射线分析看来都相当肯定，多肽链仅仅是由L-型氨基酸组成的。在这种情况下，相邻氨基酸的侧链伸出在主链的异侧；相间的侧链伸出在主链的同侧。由两种异构体的混合物组成的链不可能稳定，因为当L-型氨基酸和D-型氨基酸相邻的时候，在同一侧就会有两个相邻的侧链突出出来，这样就会使侧链拥挤，并使键变形。

侧链是把相邻的肽链连接在一起的重要因素。当一条链上的1个带负电荷的侧链靠近其邻居上的1个带正电荷的侧链时，它

们会形成1个静电键。侧链还可以提供起连接作用的氢键。不仅如此,双头的氨基酸胱氨酸能够把它的一个氨-羧顺序插入一个链中,而把另一个氨-羧顺序插入下一个链中。于是两个链被侧链里的两个硫原子连接在一起(**二硫键**)。多肽键的连接可以说明蛋白质纤维的强度。它解释了为什么看上去很脆弱的蜘蛛网却非常坚韧,为什么角蛋白能够形成像指甲、老虎的爪子、鳄鱼的鳞、犀牛的角那样坚硬的结构。

溶液中的蛋白质

上面这一切很好地说明了蛋白质纤维的结构。溶液中的蛋白质情况又如何呢?它们具有什么样的结构呢?

它们确实具有一定的结构,但是这种结构非常脆弱。对溶液稍微加热或搅动,或加入一点儿酸、碱,或任何其他的环境变化,都会使溶解的蛋白质**变性**,即蛋白质失去执行其自然功能的能力,而且它的许多特性也会改变;还有,变性作用通常是不可逆的,例如,煮硬的鸡蛋就再也不能变软了。

看来可以肯定,变性作用与多肽主链失去某种特殊的构型有关。到底结构的哪一部分被破坏了呢?对于溶液中的蛋白质,X射线衍射无能为力,但是我们可以利用其他技术。

例如,1928年,印度物理学家喇曼发现,被溶液中的分子所散射的光,波长会发生一定程度的变化。根据这种变化的性质,可以推断出分子的结构。由于这项**喇曼效应**的发现,喇曼获得了1930年的诺贝尔物理学奖。(光的这种波长变化,一般叫做进行散射的分子的**喇曼光谱**。)

20年后,根据原子核具有磁性这一事实,人们又发展了另一种巧妙的方法。受到强磁场作用的分子能够吸收某些频率的无线电波,称做**核磁共振**,通常缩写为NMR,可以从中得到关于原子

之间的键的信息。特别是,核磁共振技术能够确定分子内部微小的氢原子的位置,而 X 射线衍射却探测不出来。核磁共振技术是在 1946 年由两组人员各自独立研究出来的。一组人员由珀塞耳领导(后来珀塞耳首先探测到由空间的中性氢原子发射的射电波,见第二章),另一组由瑞士血统的美国物理学家 F. 布洛赫领导。由于这一成就,珀塞耳和 F. 布洛赫分享了 1952 年的诺贝尔物理学奖。

现在再回到溶液中蛋白质的变性的问题上。美国化学家多蒂和布劳特利用光散射技术研究溶液中合成的多肽链,发现它们具有螺旋结构。通过改变溶液的酸度,多蒂和布劳特能够把这些螺旋分解成不规则的小圈;通过调整溶液的酸度,可以使螺旋复原。他们还证明,螺旋变成不规则的小圈降低了溶液的旋光性。他们甚至能够证明蛋白质螺旋扭转的方向:蛋白质螺旋是沿着左旋螺纹的方向扭转的。

所有这些发现表明,一种蛋白质的变性与其螺旋结构的被破坏有关。

蛋白质分子的分解

上面我们从总体上讨论了蛋白质分子的结构——链的一般形状。蛋白质分子结构的细节又是怎样的呢?例如,在某个给定的蛋白质分子中,每一种氨基酸各有多少个呢?

我们可以把一个蛋白质分子分解成组成它的各种氨基酸(通过在酸中加热),然后测定混合液中每一种氨基酸有多少。遗憾的是,有些氨基酸在化学性质上彼此非常相似,用普通的化学方法几乎不能把它们截然分开,而用色谱法能够把各种氨基酸分得清清楚楚(见第六章)。1941 年,英国生物化学家马丁和辛格首先把色谱法应用于这个方面。他们采用的是用淀粉作为色柱里的填料。

1948年,美国生物化学家S.穆尔和斯坦把氨基酸的淀粉色谱法的效率提高到一个新水平,因此,他们分享了1972年的诺贝尔化学奖。

把各种氨基酸的混合液倒入淀粉柱里,待所有的氨基酸分子附着在淀粉颗粒上以后,再用新鲜的溶剂把氨基酸从柱中慢慢地淋洗下去。每一种氨基酸都以自己特定的速率从柱中向下移动。当每一种氨基酸从柱的底部分别流出时,那种氨基酸溶液的液滴就被收集在一个容器里;然后用一种能够使氨基酸呈色的化学药品,对每一个容器里的溶液进行处理。颜色的强度表示溶液中某种氨基酸的含量。这种颜色强度是用一种叫做**分光光度计**的仪器测量的。分光光度计可以通过某一特定波长的光被吸收的量显示出颜色的强度(图12-2)。

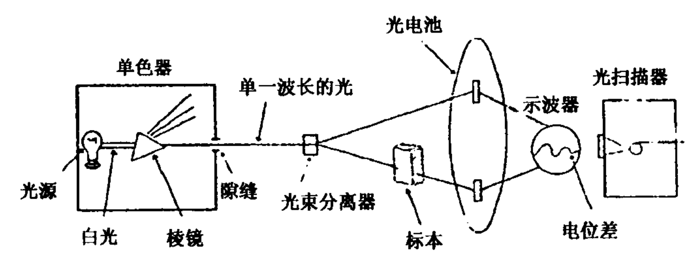


图12-2 分光光度计。光束被分为两部分,一部分通过要分析的标本,而另一部分直接到光电池。因为通过标本的光束被减弱,在光电池中释放的电子比未被吸收的光束释放的少,所以这两部分光束在示波器上显示出电位差,这样就可以测量出标本的光的吸收量

[顺便说一下,分光光度计也可以用在其他的化学分析上。如果让波长连续增加的光通过一种溶液,吸收的量就会平稳地改变,在某些波长时上升到最大值,而在另一些波长时下降到最小值。结果形成一种**吸收光谱**。每一种原子团都有自己特定的一个或几

个吸收峰。在刚刚进入20世纪的时候，美国物理学家柯布伦茨首先证明，在红外区域这种现象尤为明显。虽然当时他的仪器太粗糙，使这项技术未能实际应用，但是自从第二次世界大战以来，人们越来越多地使用**红外分光光度计**来分析复杂化合物的结构，这种仪器能对2～40微米的光谱进行自动扫描并能记录下结果。用于化学分析的各种**光学方法**，包括无线电波吸收、光吸收、光散射等，都非常精密，并且没有破坏性(换句话说，标本在检验过程中不被破坏)，因而完全取代了前一章中提到的李比希、杜马和普列格尔的古典分析法。]

虽然用淀粉色谱法测定氨基酸非常令人满意，但是在这种方法发展起来的时候，马丁和辛格研究出了一种更简单的色谱法，叫做**纸色谱法**(图12－3)。各种氨基酸能够在一张滤纸上被分开

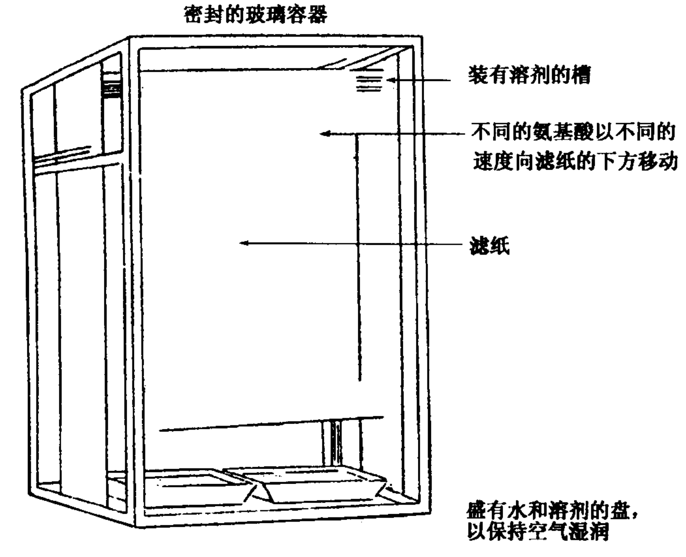


图12－3　纸色谱法

(一种用特别纯的纤维素制成的吸水纸)。把1～2滴不同氨基酸的混合液滴在滤纸的一个角上,然后把滤纸这一边的边缘浸入丁醇一类的溶剂中。由于毛细作用,溶剂沿着滤纸慢慢地移动。(将吸水纸的一角浸入水中,你就会看到这种现象。)溶剂经过液滴时顺便带上氨基酸分子,因而使氨基酸分子也沿着滤纸移动。如同淀粉色谱法一样,每种氨基酸都以特定的速率沿滤纸移动。过一段时间以后,混合液中的各种氨基酸便在滤纸上分成一系列的斑点。有些斑点可能含有两种或三种氨基酸。要把这些氨基酸再分开,需要等滤纸干燥以后,把滤纸从原来的位置旋转90度,然后把新的边缘浸入第二种溶剂中,这种溶剂将把这几种氨基酸再分别沉积成几个斑点。最后,待整张滤纸干燥以后,再用化学药品冲洗,使氨基酸的斑点带色或变黑。这真是一种富有戏剧性的奇观:原来混合在一种单一溶液中的各种氨基酸,现在布满整张滤纸,就像一幅由彩色斑点拼成的工艺品。有经验的生物化学家根据斑点所占的位置,能够识别出每一种氨基酸,几乎一眼就能看出原蛋白质的成分。把一个斑点溶解,他们甚至能够测量出这种蛋白质中某种氨基酸的含量。由于对这项技术的发展,马丁和辛格获得1952年的诺贝尔化学奖。

(1952年,马丁同詹姆斯一起,把这种技术原理应用在分离气体上。各种气体或蒸汽的混合物可以利用氮或氦一类惰性载气的气流通过液态溶剂或吸收性固体的表面。混合的气体通过后,在另一端出现时就分开了。这种**气相色谱法**特别有用,因为它分离速度快,而且非常精密,能够探测出痕量的杂质。)

色谱分析准确地估计出了各种蛋白质的每一种氨基酸含量。例如,已经发现,一种被称为**血清清蛋白**的血液蛋白质分子,含有15个甘氨酸、45个缬氨酸、58个亮氨酸、9个异亮氨酸、31个脯氨酸、33个苯丙氨酸、18个酪氨酸、1个色氨酸、22个丝氨酸、27个

苏氨酸32个胱氨酸、4个半胱氨酸、6个甲硫氨酸、25个精氨酸、16个组氨酸、58个赖氨酸、46个天门冬氨酸和80个谷氨酸,总计有18个不同类型的526个氨基酸,分子量约为69 000。(除了这18种以外,还有一种普通的氨基酸,叫做丙氨酸。)

德国血统的美国生物化学家布兰德提出了一套代表各种氨基酸的符号,现在已被普遍采用。为了避免与元素符号相混淆,他用每一种氨基酸英文名字的前三个字母来为其命名,而不是只用第一个字母。其中有几个比较特殊:CyS代表胱氨酸,以表明它的两半通常被连接到两种不同的链上;半胱氨酸用CySH代表,以区别于胱氨酸;异亮氨酸的符号是Ileu而不是Iso,因为Iso是许多化学名词的字头。

用这种符号,血清清蛋白的分子式可以写成:$Gly_{15}Val_{45}Leu_{58}Ileu_{9}Pro_{31}Phe_{33}Tyr_{18}Try_{1}Ser_{22}Thr_{27}CyS_{32}CySH_{4}Met_{6}Arg_{25}His_{16}Lys_{58}Asp_{46}Glu_{80}$。应该承认,分子式这样写比较简洁,但念起来并不顺口。

分析肽链

发现一种蛋白质的经验式只是工作的一半——实际上远不到一半,更为艰巨的工作是破译一种蛋白质分子的结构。有充分的理由相信,每一种蛋白质的性质完全取决于所有那些氨基酸在分子的链上是怎样(按什么次序)排列的。这就给生物化学家提出了一个难题。即使每种氨基酸只用一次,19种氨基酸在一条链上可能的排列方式也有大约12亿亿种。如果你觉得这个数目难以置信,试求19×18×17×16×……的值,这就是求有多少种可能的排列方式的方法。如果你不相信算术,可以找出19个棋子,在棋子上依次标上1至19,看看你能把它们排列成多少种不同的次序。我保证,这个游戏你很快就会玩不下去的。

如果你有一个像血清清蛋白那样由500多个氨基酸组成的蛋白质，那么它可能的排列方式就会有大约1×10^{600}种，即在1的后面加600个零。这简直是一个大得难以相信的数目，比整个已知宇宙中亚原子粒子的数目还要大得多。换句话说，就此而言，即使把这些粒子都压结实，宇宙也远远容纳不下。

虽然在那么多可能的排列方式中，要弄清楚一个血清清蛋白分子到底属于哪一种，似乎是没有希望的，但是这类问题实际上已经得到了处理和解决。

1945年，英国生物化学家桑格着手确定一条肽链中氨基酸的排列次序。他首先试图鉴定出肽链一端（氨基端）的氨基酸。

显然，这一端的氨基酸（称做N**末端氨基酸**）的氨基是游离的，就是说，不与另一个氨基酸相连接。桑格使用了一种能够与游离的氨基结合、但不能与已经跟羧基连接的氨基结合的化学药品，制取了肽链的一种DNP(**二硝基苯酚**)衍生物。利用DNP，他可以标记出N末端氨基酸。因为把DNP结合在一起的键比把链上的氨基酸结合在一起的键力量大，所以它能够把链分解成单个的氨基酸，并把带有DNP标记的那一个氨基酸分离出来。碰巧DNP基为黄色，因此这种特殊的氨基酸同其DNP标记一起，在纸色谱图上呈现为一个黄色的斑点。

因此，桑格能够分离并鉴定出一条肽链的氨基端的氨基酸。用同样的方法，他鉴定出链另一端的氨基酸——含有一个游离羟基的氨基酸，叫做C**末端氨基酸**。他还多次把一条肽链中的一些其他氨基酸一个一个地切割下来，并鉴定出它的末端顺序。

桑格进而研究整条肽链。他选用的是**胰岛素**。这种蛋白质有两个优点：一是它对人体的功能有非常重要的作用；二是它是一种比较小的蛋白质，胰岛素的最简式分子量只有6 000。DNP处理表明，这种蛋白质分子由两条肽链组成，因为它含有两种不同的N

末端氨基酸。这两条链是由一些胱氨酸分子连接起来的。桑格用化学的方法断开胱氨酸中两个硫原子之间的键，把胰岛素分子分成它的两条肽链，每一条都完整无损。其中一条链的N末端氨基酸为甘氨酸（称之为G链），另一条链的N末端氨基酸是苯丙氨酸（称之为P链）。现在可以对这两条链分别进行研究了。

桑格和他的同事塔皮首先把G链和P链分解成单个的氨基酸，从而鉴定出组成G链的21个氨基酸和组成P链的30个氨基酸。接着，为了了解排列顺序的情况，他们就把G链和P链分解成由2～3个氨基酸组成的碎片，而不分解为单个的氨基酸。这个任务可以通过部分水解的方法来完成，水解仅断开链中比较弱的键；也可以通过用某些消化物质攻击胰岛素的方法来完成，这些消化物质只断开氨基酸之间的某些键而不损害其他键。

利用这些方法，桑格和塔皮把G链和P链分别分解成许多不同的片段。例如，把P链分解成48个不同的片段，其中由2个氨基酸（**二肽**）组成的片段22个，由3个氨基酸组成的片段14个，由3个以上的氨基酸组成的片段12个。

经过分离的各种小的肽，用纸色谱法可以再分解成单个的氨基酸。现在研究者们准备测定这些片段中氨基酸的顺序了。假如他们有一个由缬氨酸和异亮氨酸组成的二肽。问题会是：顺序是Val－Ileu还是Ileu－Val？换句话说，N末端氨基酸是缬氨酸还是异亮氨酸？（氨基以及相继的N末端单元，通常认为在一条链的左端。）对此，DNP标记可以回答这个问题。如果DNP标记出现在缬氨酸上，那么，缬氨酸就是N末端氨基酸，从而可以确认这个二肽的排列顺序是Val－Ileu。如果DNP标记出现在异亮氨酸上，排列顺序则为Ileu－Val。

一个由3个氨基酸组成的片段，其排列顺序也可以确定出来。假如一个片段的组成是亮氨酸、缬氨酸和谷氨酸。DNP试验可以

首先鉴定出 N 末端氨基酸。比方说，如果是亮氨酸，那么，排列顺序不是 Leu - Val - Glu 就是 Leu - Glu - Val。然后人工合成这两种组合，并分别滴在滤纸上，使成为色谱图上的斑点，再看看哪一种组合在滤纸上占的位置与被研究的片段所占的位置相同。

对于含有 3 个以上氨基酸的肽，可以把它们先分解成比较小的片段，然后再进行分析。

用这种方法把胰岛素分子分成的所有片段的结构确定以后，下一步就是按照它们在链中的正确次序，把这些片段连接在一起——就像小孩玩拼板玩具那样。这里有许多线索可寻。例如，已知 G 链只含有 1 个单位的氨基酸——丙氨酸，在从分解 G 链所得到的肽混合物中，发现丙氨酸有两种组合方式：丙氨酸-丝氨酸和胱氨酸-丙氨酸。因此，在完整的 G 链中，排列次序一定是 CyS - Ala - Ser。

利用这些线索，桑格和塔皮逐渐地把这些片段拼到了一起。把所有的片段都确认出来，并以完全满意的顺序把它们排列出来，要花费几年的时间。但是到了 1952 年，他们就研究出了 G 链和 P 链中所有氨基酸的精确的排列次序，接着他们继续研究两条链是怎样连接起来的。1953 年，他们宣布终于胜利地破译了胰岛素的结构。一种重要的蛋白质分子的全部结构第一次被研究出来了。由于这一成就，桑格获得了 1958 年的诺贝尔化学奖。

生物化学家们立即采用桑格的方法来确定其他蛋白质分子的结构。1959 年，攻克了核糖核酸酶，这是一种由含有 124 个氨基酸的单个肽链组成的蛋白质分子；1960 年，研究出了含有 158 个氨基酸的烟草花叶病毒的蛋白质单位；1964 年，破译了一种含有 223 个氨基酸的蛋白质——胰蛋白酶；到 1967 年，这种研究技术实际上已经自动化了。瑞士血统的美国生物化学家埃德曼设计了一种**顺序分析仪**，可以把 5 毫克纯蛋白质的氨基酸一个一个地分

离和鉴定出来。肌红蛋白链的60个氨基酸就是用这个方法在4天内鉴定出来的。

人们已经详细地研究出了更长的肽链。到20世纪80年代，任何蛋白质，不论有多大，其详细结构都可以确定出来。只要不怕麻烦，就毫无疑问。

总的来说，这些分析表明，大部分蛋白质都能在它们的链上充分显示出所有(或几乎所有)不同的氨基酸。只有几种比较简单的纤维状蛋白，如丝中或腱中发现的那些蛋白，偏重于2～3种氨基酸。

在由全部19种氨基酸组成的那些蛋白质中，单个的氨基酸没有明显的排列次序，也很少发现有周期性的重复。这些氨基酸是这样排列的，当链通过在各处形成的氢键而折叠起来的时候，各种侧链能构成一个含有正确排列次序的原子团或电荷图样的表面，从而使蛋白质发挥其功能。

合成蛋白质

一旦弄清楚了多肽链中氨基酸的顺序，人们就可以着手完全按照那种正确的顺序把氨基酸结合在一起了。当然，一开始合成的是一种小的蛋白质。在实验室中合成的第一种蛋白质是**催产素**，一种对人体有许多重要功能的激素。催产素是一种极小的蛋白质分子，只含有8个氨基酸。1953年，美国生物化学家迪维尼奥成功地合成了一种与催产素的特征完全相似的肽链，而且，这种合成肽的确显示出自然激素的全部特性。迪维尼奥获得了1955年的诺贝尔化学奖。

在以后的几年中，人们合成出了更复杂的蛋白质分子；但是要用按照特殊顺序排列的特殊氨基酸合成一种特殊的分子，打个比方说，就必须像穿串珠一样，一次只穿一个。这件事情在20世纪

50 年代如同在半个世纪以前的 E. 费歇尔时代一样困难。每次把一个特殊的氨基酸连接到一条链上,都必须用繁琐的方法把这种新的化合物同所有其他的部分分离,然后再重新开始连接另一个特殊的氨基酸。在每一步骤中都会有大部分物质在副反应中失去,因此,即使简单的链,能合成的量也很小。

但是,1959 年初,由美国生物化学家梅里菲尔德领导的一个小组,在新的方向上有了突破。所需要的链的开头的一个氨基酸被连接在用聚苯乙烯树脂制成的串珠上。这些串珠在所使用的溶液中不溶解,而且通过简单的过滤就能够同其他所有的物质分离。把含有第二个氨基酸的新溶液加进去,第二个氨基酸就会接在第一个上。再过滤,然后再倒入含有第三个氨基酸的新溶液。加溶液的步骤非常简单迅速,因此可以自动化,而且几乎没有任何损失。1965 年,用这种方法合成了胰岛素分子;1969 年,合成了更长的核糖核酸酶的链,共含有 124 个氨基酸;接着,1970 年,中国血统的美国生物化学家李卓浩合成了有 188 个氨基酸链的人体生长激素。原则上讲,只要具有足够的耐心,任何蛋白质现在都能人工合成。

蛋白质分子的形状

认识到蛋白质分子是一串氨基酸(打个比方)以后,人们希望对蛋白质分子能有更多的了解。氨基酸链究竟是以什么方式扭曲的呢? 蛋白质分子的确切形状是什么样的呢?

奥地利血统的英国化学家佩鲁茨和他的英国同事肯德鲁着手研究这个问题。佩鲁茨把血红蛋白作为研究对象。血红蛋白是血液中载氧的蛋白质,含有大约 12 000 个原子。肯德鲁则挑选了肌红蛋白,一种在功能上类似血红蛋白的肌肉蛋白质,但在大小上只有血红蛋白的 1/4。他们使用的是 X 射线衍射分析法。

佩鲁茨使用的装置能够把一些蛋白质分子和一个大质量原子(如金或汞的原子)结合起来,因为这些大质量原子衍射X射线的效率特别高。这样,他得到很多线索,从而更精确地推断出在没有大质量原子的情况下血红蛋白分子的结构。到1959年,肌红蛋白分子的结构弄清楚了,第二年血红蛋白分子的结构也研究出来了。这样就可以制造出它们的立体模型,使每一单个原子都安置在看上去很可能是正确的位置。结果,佩鲁茨和肯德鲁分享了1962年的诺贝尔化学奖。

有理由认为,利用佩鲁茨-肯德鲁技术得出的这些立体结构,终归要由那一串氨基酸的性质来确定。打个比方说,氨基酸串具有一些自然折皱点,当它们弯曲的时候,必然会发生某些相互联系,从而使氨基酸串适当地折叠起来。通过计算出所有原子间的距离和连接键所放置的角度,就能够确定这些折叠和相互联系的情况,但这确实是一项繁琐的工作。这项工作也已经利用计算机了:不仅用计算机进行计算,而且还让计算机把结果显示在屏幕上。

不管怎样,已经知道立体形状详细情况的蛋白质分子的数目正在迅速增加。胰岛素作为向分子生物学发起新的攻击的起点,它所具有的立体形状是英国生物化学家D.C.霍奇金1969年研究出来的。

酶

蛋白质分子非常复杂,而且几乎有无数的种类,因而很有用处。蛋白质在生物体内要执行多种不同的功能。

一种主要功能就是为身体提供结构骨架。正如纤维素构成植物的骨架一样,各种纤维状蛋白质对复杂的动物也起着同样的作用。蜘蛛织网的丝和昆虫幼虫做茧的丝都是蛋白质纤维。鱼和爬行动物的鳞主要是由角蛋白构成的。毛发、羽毛、犄角、蹄子、爪子和指甲也含有角蛋白,它们只不过是变化了的鳞。皮肤由于含有大量的角蛋白才那么坚韧。体内的支持组织(软骨、韧带、腱甚至于骨骼的有机支架)主要是由胶原蛋白和弹性蛋白一类的蛋白质分子组成的。肌肉是由一种叫做**肌动球蛋白**的复杂的纤维状蛋白质组成的。

在所有这些实例中,蛋白质纤维不是纤维素的代用品,而是纤维素的改良品。蛋白质纤维比纤维素更结实、更柔软。纤维素可以支持植物,但植物不需要做比随风摇晃更复杂的运动。而蛋白质纤维则必须适应身体各部位的弯曲,以进行各种快速运动和振动等。

可是,不论在结构上还是在功能上,蛋白质纤维只是蛋白质中最简单的一类。大多数其他蛋白质要做的工作更精细、更复杂。

为了全面地维持生命,必须在体内进行许多化学反应。这些反应种类繁多,而且必须高速进行,每一个反应都要和所有其他的反应紧密配合,因为生命的平稳活动不是依赖某一种反应,而是依赖所有的反应。此外,所有的反应必须在最温和的环境下进行,即没有高温、没有强的化学药品,也没有高压。这些反应必须在严格而灵活的控制下进行,而且必须根据环境的变化特点和身体变化的需要经常进行调整。在成千上万的反应中,即使有一个反应太慢或太快,多少都会给身体造成损害。

所有这一切都是由蛋白质分子来完成的。

催化作用

到18世纪末,化学家们以拉瓦锡为先导,开始用定量的方法来研究各种反应,特别是测定化学反应进行的速率。他们很快就注意到,环境稍微改变就会使反应速率发生重大变化。例如,当克希霍夫发现有酸存在淀粉就会变成糖时,他注意到,尽管酸极大地加快了这个反应,但在反应过程中酸本身并没有被消耗。人们很快又发现了一些其他这样的例子。德国化学家德贝赖纳发现,铂的粉末(称做**铂黑**)能够促使氢和氧结合成水,如果没有铂黑的帮助,这个反应只有在高温下才会发生。德贝赖纳甚至设计了一种能够自动点火的灯,在灯里面把氢气流喷到一个涂有铂黑的面上,灯就点着了。

因为这种"被加快的反应"通常是朝着由一种复杂物质分解为一种比较简单物质的方向进行的,所以贝采利乌斯把这种现象命名为**催化作用**(源自希腊语,原意主要是"分解")。于是,铂黑被叫做氢和氧化合的催化剂,而酸被叫做淀粉水解成葡萄糖的催化剂。

催化作用被证明在工业上具有头等的重要性。例如,硫酸是一种仅次于空气、水和食盐的重要无机化合物,而制造硫酸的最好方法就是将硫燃烧——先变成二氧化硫(SO_2),再变成三氧化硫(SO_3)。如果不加入铂黑一类的催化剂的话,从二氧化硫变成三氧化硫这一步就进行得像蜗牛爬行一样慢。镍粉末(在大多数情况下用它来代替铂黑,因为它比较便宜)以及铬化铜、五氧化二钒、三氧化二铁、二氧化锰等化合物也是重要的催化剂。事实上,在工业上一个化学生产过程能否成功,在很大程度上取决于能否找到正好适合有关反应的催化剂。正是由于齐格勒发现了一种新型的催化剂,才使聚合物的生产发生了一场革命。

一种物质尽管有时用量很少,却能引起大量的反应,而自己本身并不发生变化,这是怎么回事呢?

有一类催化剂实际上是参加反应的，但它是以一种循环的方式参加反应的，因此它能够连续不断地恢复到原来的形态。五氧化二钒就是一个例子，它能够催化二氧化硫变为三氧化硫。五氧化二钒把它的一个氧原子递给 SO_2，把 SO_2 变成 SO_3，而自身变成四氧化二钒(V_2O_4)。但是四氧化二钒很快与空气中的氧反应，又恢复成 V_2O_5。这样五氧化二钒起了一个“中间人”的作用，把一个氧原子递给二氧化硫，从空气中再另取一个，然后再递给二氧化硫，如此循环不已。这个过程进行得非常快，因此，少量的五氧化二钒就足以使大量的二氧化硫发生转变，而最终五氧化二钒看上去并没有改变。

1902 年，德国化学家隆哥提出，上述情况可以解释一般的催化作用。1916 年，朗缪尔又向前迈进了一步，他对像铂一类物质的催化作用提出了一种解释：这类物质非常不容易起反应，因而不可能指望它们参与一般的化学反应。朗缪尔认为，铂金属表面多余的价键能够抓住氢分子和氧分子。当氢分子和氧分子被束缚在非常靠近铂的表面时，比起它们作为一般的游离的气态分子更容易化合成水分子。水分子一旦形成，就会被氢分子和氧分子从铂的表面推开。铂捕捉住氢和氧，使氢和氧化合成水，把水释放掉，再捕捉氢和氧，再形成水，这个过程可以无休止地进行下去。

这个过程叫做**表面催化作用**。自然，一定质量的金属，粉末越细，所能提供的表面积就越大，因而进行催化作用的效率也就越高。当然，如果有任何外来的物质牢固地附着在铂表面的键上，就会使这种催化剂**中毒**。

所有的表面催化剂多少都具有选择性或**专一性**。有些容易吸收氢分子，因而能够催化与氢有关的反应；另一些容易吸收水分子，因而能够催化缩合反应或水解反应；等等。

表面普遍具有能够吸附多层分子的能力(**吸附作用**)，这种能

力除了可以催化以外，还可以有其他用途。制成海绵状的二氧化硅(**硅胶**)能吸收大量的水，把它放进电子设备里，可以起**干燥剂**的作用，使湿度降低。在湿度高的情况下，电子设备的性能会受到损害。

还有，研成细粒的木炭(**活性炭**)很容易吸附有机分子；有机分子越大就越容易被吸附。活性炭可以用来使溶液脱色，因为它能吸附有色的杂质(通常分子量很大)，而留下所需要的物质(通常无色，分子量也比较小)。

活性炭还被用于防毒面具。这个用途英国医生斯坦豪斯早就预示到了，1853年，他首先制成了一个活性炭空气过滤器。空气中的氧和氮通过这种物质时不受影响，但比较大的毒气分子则被吸附。

发酵

有机界同样有自己的催化剂。实际上，其中有些催化剂已经知道了几千年，虽然当时并不叫那个名称。它们同做面包和酿酒一样源远流长。

生面团如果只有自身而不加任何东西，就会发不起来。加一块**酵母**(源自拉丁语，原意为“发起来”)，就会开始起泡，使面团膨胀而变轻。

酵母还能使果汁和谷类加速转化成酒。在转化过程中同样也形成气泡，因此人们把这个过程叫做**发酵**。酵母的制品通常称为**酵素**。

直到17世纪，人们才发现了酵母的本质。1680年，一位荷兰研究者列文虎克第一次看到了酵母的细胞。为此，他使用了一种使生物学产生革命的仪器——显微镜。显微镜是根据透镜可以使光线折射和聚焦的原理制成的。早在1590年，一位荷兰眼镜制造

商Z. 詹森就设计了用组合镜片组成的仪器(**复显微镜**),这些早期的显微镜大体上是可以使用的,但由于镜片磨得不好,被放大的物体成为模糊不清的斑点。列文虎克用的镜片很小,但磨得很细,即使把物体放大200倍仍很清晰。他使用的是单透镜(**简单显微镜**)。

随着时间的推移,把好的镜片组合使用的做法越来越普遍(因为复显微镜至少在潜力方面比简单显微镜大得多),微观世界进一步被打开。在列文虎克以后一个半世纪,法国物理学家卡格尼亚尔·德拉图尔使用一台优质的复显微镜,专心地研究酵母的细小斑点,发现这些小斑点竟然是活的——它们正在进行繁殖。于是,在19世纪50年代,酵母成了一个研究的热门课题。

当时,法国的酿酒业正陷入困境。陈酒变酸,变得没法再喝,损失达数百万法郎。这个问题被提到位于葡萄种植区中心的利尔大学科学系的年轻系主任那里。这位年轻的系主任就是巴斯德。他由于最先在实验室里分离出对映体,当时已经出了名。

巴斯德在显微镜下研究葡萄酒中的酵母细胞。他明显地看到,酵母细胞有许多不同的种类。所有的葡萄酒都含有引起发酵的酵母,但是那些变酸的葡萄酒还含有另外一种酵母。巴斯德认为,葡萄酒是在发酵完成以后才开始变酸的。既然在必要的发酵以后不再需要酵母,为什么不在这个时候把所有的酵母都去掉,以免那个坏种捣乱呢?

因此,他向一家被吓坏了的酿酒厂建议,在葡萄酒发酵后稍微加热,以杀死酒中所有的酵母。他预言,这样葡萄酒就能陈酿而不变酸。那家酿酒厂勉强试验了他这个令人难以接受的建议,高兴地发现酒不再变酸了,而且酒的味道并没有因为加热而受到任何损害。酿酒业得救了。此外,这种稍微加热法(**巴氏杀菌**)后来也用于牛奶,以杀死牛奶里的细菌。

除了酵母以外，其他生物体也能加速分解过程。实际上，在肠道里就进行着类似于发酵的过程。第一个以科学的方法研究消化的人是法国物理学家列奥米尔。他用鹰作为实验对象。1752年，他让鹰吞下几个里面装有肉的小金属管；金属管保护肉不受任何机械研磨作用，但是管上都有用格栅挡着的小孔，使胃里的化学过程能够作用到肉上。列奥米尔发现，当鹰吐出这些管子的时候，肉已经部分地分解了，而且管中有一种带黄色的液体。

1777年，苏格兰医生史蒂文斯从胃里分离出一种液体（**胃液**），并且证明分解过程可以在体外进行，从而把分解过程与生命的直接影响分离开来。

显然，胃液里含有某种能加速肉分解的东西。1834年，德国博物学家施万把氯化汞加入胃液，结果沉淀出一种白色粉末。把汞化物从粉末中除去，再把剩下的粉末溶解，此时他得到一种浓度非常高的消化液。他把他发现的这种粉末叫做**胃蛋白酶**（源自希腊语“消化”）。

同时，两位法国化学家帕扬和佩索兹发现，麦芽提取物中有一种物质，能够把淀粉转变成糖，而且比酸还要快。他们称这种物质为**淀粉酶制剂**（源自希腊语“分离”），因为这种物质是从麦芽中分离出来的。

在很长一段时间里，化学家们对像酵母细胞一类的活体酵素和像胃蛋白酶一类的非活体（即**无细胞结构的**）酵素作了明确的区分。1878年，德国生理学家库恩提出把后者称做**酶**（源自希腊语“在酵母中”）。库恩当时没有意识到，“酶”这个词以后会变得多么重要，多么普遍。

1897年，德国化学家毕希纳用砂粒研磨酵母细胞，把所有的细胞全部研碎，并成功地提取了一种液体。他发现，这种液体能够像原酵母细胞一样完成发酵任务。活体酵素与非活体酵素之间的

区别一下子消失了。这对于活力论者又是一次打击，活力论者对生命和非生命进行了带有神秘色彩的区分。“酶”这个词现在用于所有的酵素。

由于这项发现毕希纳获得了1907年的诺贝尔化学奖。

蛋白催化剂

现在我们可以把酶简单地定义为有机催化剂。化学家们开始着手分离酶，想看看它们究竟是些什么样的物质。麻烦的是，在各种细胞和天然液体内，酶的含量都非常小，而且所得到的提取物总是混合物，很难分清其中哪些是酶，哪些不是酶。

许多生物化学家曾经猜测酶就是蛋白质，因为稍微加热，酶的特性很容易被破坏，就像使蛋白质变性一样。但是，在20世纪20年代，德国生物化学家威尔施泰特报道说，某些纯化了的酶溶液(他认为他已经从中去掉了所有的蛋白质)，表现出明显的催化作用。他的结论是：酶不是蛋白质，而是比较简单的化学物质，它实际上可能是利用蛋白质作为**载体分子**。当时大多数生物化学家都站在威尔施泰特一边，他是诺贝尔奖金获得者，享有很高的威望。

可是，这个学说刚一提出，康奈尔大学的生物化学家萨姆纳几乎马上就提出有力的证据予以反驳。萨姆纳从刀豆(一种美洲热带植物的白色种子)中分离出一些结晶，溶解后显示出一种叫做**脲酶**的酶的特性，即能够催化尿素分解成二氧化碳和氨。萨姆纳的结晶显示出明显的蛋白质性质，而且他无法把蛋白质与酶的活力分开。凡是使蛋白质变性的东西也都会破坏这种酶。这一切好像都证明，他所得到的是一种纯的结晶状的酶，而且证明酶是一种蛋白质。

由于威尔施泰特的巨大威望，在一段时间内萨姆纳的发现没

有受到重视。但是,1930年,洛克菲勒研究院的化学家诺思罗普和他的同事们证明萨姆纳的发现是正确的。他们结晶出了许多种酶(包括胃蛋白酶在内),而且发现它们都是蛋白质。此外,诺思罗普还证明,这些结晶都是纯蛋白质,即使溶解并稀释到一般化学试验(如威尔施泰特所做的那些试验)不能再查到蛋白质存在的程度,仍然会保持它们的催化活力。

酶就这样被证实是**蛋白催化剂**。到目前为止,人们已经识别出大约2 000种不同的酶,并对200多种酶进行了结晶——全部都是蛋白质,无一例外。

由于他们的工作,萨姆纳和诺思罗普分享了1946年的诺贝尔化学奖。

酶作用

酶在高效率和专一性两个方面都非常像催化剂。例如,有一种叫做过氧化氢酶的酶,可以催化过氧化氢分解成水和氧。虽然现在溶液中的过氧化氢也可以用铁屑或二氧化锰来催化,但是,在相同重量的情况下,过氧化氢酶加快分解的速率要比任何无机催化剂都快得多。在10℃时,每一分子的过氧化氢酶每秒钟能够使44 000分子的过氧化氢分解。所以,只要有浓度很小的酶就能完成它的功能。

由于同样的原因,只要服用少量能干扰一种主要酶作用的物质(**毒物**),就能结束生命。将重金属以氯化汞或硝酸钡等形式给人服用后,它们就会与许多酶活性所必不可少的巯基发生反应。那些酶停止作用,生物体就会中毒。像氰化钾或氰化氢一类的化合物,用它们的氰基与其他主要酶的铁原子结合,很快就能使动物死亡。

在常见的毒物中,一氧化碳是个例外。一氧化碳基本上不作

用于酶而与血红蛋白分子结合(血红蛋白是一种蛋白质,但不是一种酶)。在一般情况下,血红蛋白把氧从肺运送给细胞,但是被一氧化碳缠住后,就不能运送氧了。不使用血红蛋白的动物不受一氧化碳的伤害。

酶具有高度专一性,过氧化氢酶就是一个很好的例子,它只分解过氧化氢而不分解任何其他物质;而无机催化剂,如铁屑和二氧化锰等,不仅可以分解过氧化氢,而且可以催化许多其他反应。

怎样解释酶的高度专一性呢?隆哥和朗缪尔关于催化剂的行为像中间人的学说提出了一种答案。假定我们认为一种酶和它的**底物**(酶催化其反应的物质)形成一种暂时的结合,这样,这种酶的形状或构型可能起着非常重要的作用。显然,每一种酶必定有一个非常复杂的表面,因为它有许多不同的侧链从肽主链上突出出来。这些侧链中有的带负电荷,有的不带电荷;有的大,有的小。人们可以设想,每一种酶可能都有一个正好与某种底物相配合的表面,换句话说,它与底物的配合就像钥匙配锁一样。因此,它很容易与那种物质结合,而很难或根本不与其他物质结合。这样就可以解释酶的高度专一性了:每一种酶都有一个定做的表面(打个比方),用来和一种特殊的化合物结合。如果是那样的话,蛋白质由那么多不同的单元组成,而且由活组织制造出那么多的种类,就没有什么可奇怪的了。

酶作用的这种学说是英国生理学家贝利斯在他的著作中首先提出的。他研究的是一种叫做**胰蛋白酶**的消化酶。1913 年,德国化学家米歇里斯和他的助手门腾利用这个学说研究出了**米歇里斯-门腾反应式**,描述了酶执行其功能的方式,使这些催化剂变得不那么神秘了。

人们发现,如果有一种在结构上与某种底物类似的物质存在的话,就会减慢或抑制底物的这种酶促反应。这也证实了这种锁

钥观点。最有名的是关于**琥珀酸脱氢酶**的例子：这种酶能够催化从琥珀酸中脱去两个氢原子的反应；如果有**丙二酸**（和琥珀酸非常相似）存在，这个反应就不能进行。琥珀酸和丙二酸的结构式如下：

```
       O                       O
      //                      //
CH2—C                        C
|     \                     / \
|      OH                  /   OH
|                       CH2
|      O                   \   O
|     //                    \ //
CH2—C                        C
      \                       \
       OH                      OH
  琥珀酸                   丙二酸
```

这两个分子之间惟一的区别就是在琥珀酸的左侧多一个 CH_2 基。因为丙二酸的结构与琥珀酸相似，所以大概丙二酸可以附着在琥珀酸脱氢酶的表面。一旦丙二酸在酶的表面上先占据了琥珀酸要附着的点（打个比方说），它就会一直堵塞在那里，酶就失去了作用。就酶的正常功能来说，丙二酸使酶中了毒。这种作用叫做**竞争性抑制**。

支持酶-底物复合物学说的最确实的证据来自光谱分析。人们推测，如果一种酶与它的底物结合的话，在吸收光谱方面应当有变化：结合物所吸收的光应当不同于单独的酶或单独的底物所吸收的光。1936 年，英国生物化学家基林和曼，在过氧化氢酶溶液中加入它的底物过氧化氢以后，探测到颜色的改变。美国生物化学家钱斯进行了光谱分析，发现在吸收图样中有两种渐进的变化，一个接着一个。他认为，图样的第一种变化是由于酶和底物在以一定的速率形成复合物，而第二种变化是因为随着反应的完成，这种结合在减慢。1964 年，日本生物化学家八木宣称，他分离出一

种由D-型氨基酸氧化酶和它的底物丙氨酸松散结合而组成的酶-底物复合物。

现在又出现了一个问题:催化作用是需要整个酶分子呢,还是需要它的某一部分就够了呢?这在理论上和实践上都是一个重要的问题。今天酶已被广泛应用:被用来制药、制造柠檬以及许多其他化学品。如果不必用整个酶分子,而用它的某一小片段就可完成反应,或许这一活性部分可以人工合成,从而使生产过程不必依赖利用像酵母、霉菌和细菌一类的活细胞了。

已经朝着这个目标取得一些有希望的进展。例如,诺思罗普发现,当在胃蛋白酶分子的酪氨酸的侧链上加上一些乙酰基的时候,酶就失去部分活性;但是,当把乙酰基加在胃蛋白酶的赖氨酸的侧链上时,酶的活性没有任何损失。因此,酪氨酸一定与胃蛋白酶的活性有关,而赖氨酸显然无关。这是第一次表明,酶可能含有其活性不需要的部分。

最近,另一种消化酶的**活性部位**被更准确地确定出来,这种酶叫**胰凝乳蛋白酶**。胰腺最先分泌出它时不带活性,叫做**胰凝乳蛋白酶原**。这个没有活性的分子通过扯裂一个单肽键(由胰蛋白酶来完成)而转变成有活性的分子:好像是暴露出单个氨基酸就会给胰凝乳蛋白酶以活性。现在已经证明,把一个DFP(**二异丙基氟磷酸**)分子附着在胰凝乳蛋白酶上,就会停止这个酶的活性。人们推测,DFP附着在一种主要氨基酸上。由于DFP的标记作用,已经证认出那个氨基酸就是丝氨酸。事实上,人们发现DFP还附着在其他消化酶的丝氨酸上。在每次发现中,丝氨酸都是处在4个氨基酸排列顺序的同一个位置上:甘氨酸-天门冬氨酸-丝氨酸-甘氨酸。

已经证明,只有这4个氨基酸组成的肽表现不出催化的活性。显然,酶分子的其余部分也以某种方式起着作用。我们可以把这

4 个氨基酸顺序(活性中心)看成是一把刀的刀刃,如果没有刀把,它就毫无用处。

在氨基酸链上活性中心(刀刃)也不一定全都在一起。我们来看一看核糖核酸酶。因为已经知道它的 124 个氨基酸的准确顺序,所以可以设想一些方法,有意地变换链上的某一个氨基酸,看看这种变化对酶的作用有什么影响。结果发现,有 3 个氨基酸是酶作用所特别需要的,但是它们相隔很远。它们是第 12 位的组氨酸、第 41 位的赖氨酸和第 119 位的另一个组氨酸。

当然,这种分离的情况只存在于被看成是一长串的链中。在工作分子中,链卷曲成一个特殊的立体构型,由跨越各圈的 4 个胱氨酸固定位置。在这样的分子中,3 个必要的氨基酸被聚集在一起,形成一个紧密结合的单元。

在对溶菌酶的研究中,使活性中心的问题变得更加明确。许多地方(包括眼泪和鼻涕)都有溶菌酶,它能催化分解组成细菌细胞壁的某些物质的主要键,从而使细菌细胞溶解,就好像它能使细胞壁破裂,使细胞里面的东西漏出来似的。

溶菌酶是第一个对结构进行全面立体分析的酶(1965 年)。经过这种立体分析可以证明,受溶菌酶作用的细菌细胞壁的分子正好与酶结构上的一个裂隙相符。人们发现主要键位于谷氨酸(第 35 位)侧链上的一个氧原子和天门冬氨酸(第 52 位)侧链上的另一个氧原子之间。这两个位置通过氨基酸的折叠而聚集在一起,相隔的距离正好可以配上一个要攻击的分子。在这样的情况下,断开键所需要的化学反应很容易发生。溶菌酶就是以这种方式专门组织起来发生作用的。

此外,有时还会发生这样的情况,酶分子的刀刃根本不是一组氨基酸,而是性质完全不同的一种原子结合物。我将在本书的后面讲几个这方面的例子。

我们不能随意改变刀刃，但是我们能否改变一下刀把而不损害这一工具的使用价值呢？刀把有自己的用途，这是没有疑问的。酶在其自然状态下似乎很不平稳，不用怎么扭曲就能呈现多种不同的形状。当给活性部位增加底物时，酶就按照底物的形状调整自己的形状，由于分子的非活性部分的“退让”，所以它们配合得非常紧密，催化作用的效率也很高。形状稍微不同的底物就不会那样充分地利用这种“退让”，因而不会受到什么影响——实际上，还可以抑制酶作用。

而且，酶还可以简化，可能要以损失部分（而不是全部）效率为代价。例如，像胰岛素一类的蛋白质就有许多不同的种类存在，这就促使人们相信，简化是可能的。胰岛素是一种激素，而不是一种酶，但是它的功能具有高度专一性。在胰岛素 G 链的某一位置上，有一段 3 氨基酸顺序，在不同的动物体内排列顺序不同：在牛体内为丙氨酸-丝氨酸-缬氨酸；在猪体内为苏氨酸-丝氨酸-异亮氨酸；在羊体内为丙氨酸-甘氨酸-缬氨酸；在马体内为苏氨酸-甘氨酸-异亮氨酸，等等。但是，这些胰岛素中的任何一种都可以代替其他任何一种，而且都能执行同样的功能。

此外，有时把一个蛋白质分子切去一大段对它的活性没有什么严重影响（如同把刀把或斧子把弄短一点不会使其效率损失多少一样）。适当的例子是一种叫做促肾上腺皮质激素（ACTH）的激素。这是一种由 39 个氨基酸组成的肽链，氨基酸的排列顺序现在已经完全确定下来，从 C 末端一直去掉 15 个氨基酸也不会失去这种激素的活性；而从 N 末端（打个比方说，刀刃）去掉一两个氨基酸，它就会立即失去活性。

对从木瓜树的果实和树液中提取的**木瓜蛋白酶**也进行了同样的实验。它的酶作用与胃蛋白酶相似。从 N 末端去掉胃蛋白酶分子的 180 个氨基酸，看不出它的活性有什么降低。

因此，至少可以设想，酶将会进一步简化到可以大量人工合成的程度。那时候，合成酶就会以比较简单的有机化合物的形式大规模生产，并应用于各个方面。这将是化学小型化的一种方式。

新陈代谢

一个像人体这样的生物体就是一座种类繁杂的化工厂：它吸入氧气并喝水；它把碳水化合物、脂肪、蛋白质以及其他原料作为食物吃进去，又把各种未消化的东西和细菌以及由细菌引起的腐败产物排出来；它还通过肺排出二氧化碳，通过肺和汗腺排出水，并排泄尿，由尿带出许多溶解的化合物，其中主要是尿素。这些化学反应决定着身体的**新陈代谢**。

通过检查进入身体的原料和排出的废物，我们就可以知道体内发生的一些情况。例如，由于进入体内的氮大部分是由蛋白质供给的，所以我们知道，尿素一定是蛋白质新陈代谢的一种产物。但是，在蛋白质和尿素之间，有着一条漫长而又曲折复杂的路径。身体的每一种酶只能催化一种特殊的微弱反应，大概只能重新排列两三个电子。身体的每一个大的转变都要涉及到许多步骤和许多酶，即使看上去像微小的细菌那样的生物，也必须利用几千种不同的酶和化学反应。

这一切可能看上去极其复杂，但这正是生命的本质。通过增加或减少适当的酶的产生，就可以微妙地控制各种组织中的大量复杂的反应。酶控制体内的化学反应，就像手指在弦上的复杂动作控制小提琴的演奏一样；没有这种复杂性，身体就不能完成它的

多种功能。

组成身体新陈代谢的反应不计其数，要追踪这些反应的过程就等于要追踪生命的轮廓。企图详细追踪这个过程，企图弄明白同时发生的无数个反应之间的相互紧密配合，看来可能确实是一件极其艰巨甚至没有希望的工作。艰巨是事实，但并不是没有希望。

把糖变成乙醇

化学家们对新陈代谢的研究，是从努力查明酵母细胞怎样把糖变成乙醇开始的。1905 年，两位英国化学家哈登和 W.J. 扬提出，这个过程与含磷酸基糖类的形成有关。哈登和 W.J. 扬最先注意到，磷在新陈代谢中起着重要作用（从那时起磷的作用日益突出）。哈登和 W.J. 扬甚至在活组织里发现了一种由含有两个磷酸基（PO_3H_2）的果糖组成的糖基磷酸酯。这种**二磷酸果糖**（有时仍叫做哈-扬二氏酯）是被明确证认出来的第一种**代谢中间物**，即在从化合物被摄入体内到化合物被排出体外的过程中，被认识到的第一种暂时形成的化合物。哈登和 W.J. 扬就这样创立了**中间代谢**的学科，专门研究这些中间产物的性质及与它们有关的反应。由于这项工作以及对在酵母使糖转化成乙醇过程中有关酶的进一步研究工作，哈登分享了 1929 年的诺贝尔化学奖。

1918 年，德国化学家迈尔霍夫证明，动物细胞（如肌肉细胞）分解糖的方式和酵母基本相同，从而使开始时只涉及酵母细胞的问题具有了更加广泛的重要性。主要差别是：在代谢这一特殊的过程中，动物细胞的分解作用不如酵母细胞彻底。例如，它不是把 6 个碳的葡萄糖分子一直分解成 2 个碳的乙醇（CH_3CH_2OH），而只是分解成 3 个碳的乳酸（$CH_3CHOHCOOH$）。

迈尔霍夫的研究首次说明了一个普遍的原理：在一切生物（从

最简单的到最复杂的)体内,新陈代谢所经历的途径是一样的,只有一些微小的差别。从此这个原理为世人所公认。由于迈尔霍夫对肌肉中乳酸方面的研究,他和英国生理学家希尔一起分享了1922年的诺贝尔医学与生理学奖。希尔是从肌肉产生热的角度研究肌肉的,他所得出的结论与迈尔霍夫从化学研究中得到的结论非常相似。

在1937—1941年期间,在圣路易华盛顿大学工作的科里夫妇(C.F. 科里和G.T. 科里),研究出了从糖转化成乳酸过程中的各个步骤的细节。他们利用组织提取液和提纯的酶来使各种糖磷酸酯发生变化,然后像玩拼板游戏一样把所有这些变化拼集在一起。他们提出的各个步骤变化的图式至今仍然没有什么改动。科里夫妇分享了1947年的诺贝尔医学与生理学奖。

在糖转化成乳酸的过程中,产生一定的能量,这种能量为细胞所利用。酵母细胞在使糖发酵时就靠这种能量来生活,肌肉细胞在必要的时候也是如此。重要的是,要记住这种能量是在不使用空气中的氧的条件下得到的,因此,即使当肌肉需要消耗较多的能量,而通过血流较慢的速率给肌肉供氧的反应满足不了这种需要时,肌肉仍能工作。然而,随着乳酸的积聚,肌肉就会越来越疲劳,最后肌肉必须休息,直到氧把乳酸分解掉。

代谢能量

下一个问题是:由糖分解成乳酸所产生的能量是以什么方式供给细胞,而细胞又是怎样利用这种能量的呢?德国出生的美国化学家F.A. 李普曼从他1941年开始的研究中找到了一个答案。他证明,在碳水化合物代谢过程中形成的某些磷酸化合物,在连接磷酸基和分子其余部分的键上,储存着大量的能量。这种**高能磷酸键**被转移给所有细胞中都有的能量载体,这些载体中最有名的

就是ATP(**腺苷三磷酸**)。ATP分子和某些类似的化合物可以说是身体能量的“零用钱”。它们把这种能量储存在整齐的、大小适宜而又随时可取的“口袋”里。当磷酸键被水解断开时，这种能量就能转换成把氨基酸合成蛋白质的化学能，转换成传导神经冲动的电能，或者经过肌肉收缩转换成动能等等。虽然在任何一个时候ATP的储量都很少，但总是够用(只要生命存在)，因为旧的ATP分子一用完，新的ATP分子立即形成。

由于这一重要发现，F.A. 李普曼分享了1953年的诺贝尔医学与生理学奖。

哺乳动物的身体不能像酵母那样把乳酸转变成乙醇，而是通过另一种代谢途径，绕过乙醇，把乳酸直接分解成二氧化碳(CO_2)和水。在进行这种分解时，身体消耗氧，而且产生的能量比葡萄糖变为乳酸的不需要氧的转换所产生的能量多得多。

代谢与消耗氧有关，这个事实提供了一种追踪代谢过程(即查明在代谢过程中产生的中间产物)的简便方法。比如说，在连续反应的某一步骤上，某一种物质(例如琥珀酸)被怀疑是中间底物。我们可以把这种酸和活组织(或在许多情况下和单一的酶)混合在一起，测定出这种混合物的耗氧速率。如果耗氧快，我们就可以确信，这种特殊的物质确实能够促进这个过程。

德国生物化学家瓦尔堡设计了一种可以用来测定耗氧速率的关键仪器，叫做**瓦尔堡测压计**。它是由一具小烧瓶(在里面将底物和活组织或酶混合)和一个细U型管组成的，U型管的一端连接着烧瓶，另一端的口开着。在U型管的下部装有带色的液体。当酶和底物的混合物从烧瓶里的空气中吸收氧时，就会在烧瓶里形成少量的真空，因而连接烧瓶那一侧的U型管里的带色液体就会上升。利用这种带色液体上升的速率，就可以计算出耗氧的速率(图12-4)。

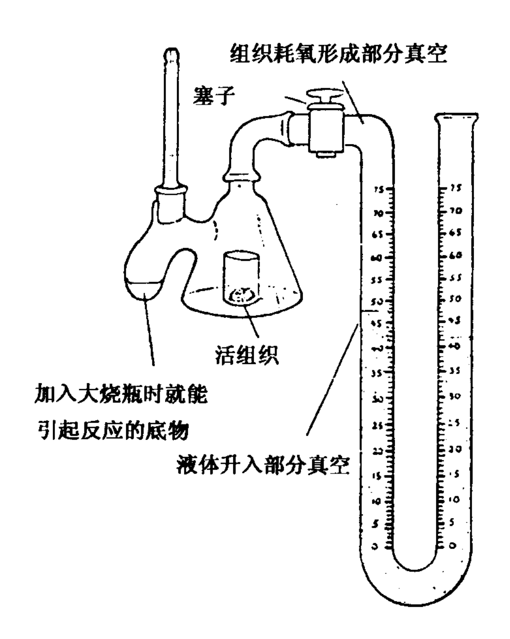


图 12-4 瓦尔堡测压计

瓦尔堡的活组织耗氧实验为他赢得了 1931 年的诺贝尔医学与生理学奖。

瓦尔堡和另一位德国生物化学家维兰德证认了乳酸分解过程中的放能反应。在一系列的反应过程中，成对的氢原子被一种叫做**脱氢酶**的酶从中间产物上脱掉。这些被脱掉的氢原子在一种叫**细胞色素**的酶的催化作用下又与氧化合。在 20 世纪 20 年代后期，瓦尔堡和维兰德对这两个反应哪一个更重要争论不已，瓦尔堡认为是耗氧，维兰德认为是脱氢。最后，基林证明这两个步骤都是必不可少的。

德国化学家克雷布斯继续研究出了由乳酸变成二氧化碳和水的全部反应顺序和中间产物。这叫做**克雷布斯循环**，也称做**柠檬**

酸循环,因为柠檬酸是这一过程中形成的主要产物之一。由于他在 1940 年完成的这项成就,克雷布斯和 F.A. 李普曼分享了 1953 年的诺贝尔医学与生理学奖。

克雷布斯循环为在呼吸中利用分子氧的那些生物(即除少数几种厌氧菌以外的所有生物,厌氧菌依靠与氧无关的化学反应的能量)产生了所需要的大部分能量。在克雷布斯循环的不同点上,一种化合物会失去两个氢原子,这两个氢原子最终要与氧化合成水。这个"最终"隐藏了许多细节。这两个氢原子由一种细胞色素分子传递给另一种细胞色素分子,直到最后一种**细胞色素氧化酶**才把这两个氢原子传递给分子氧。沿着细胞色素的行列,形成 ATP(腺苷三磷酸)分子,为身体提供了自身化学反应所需能量的"零用钱"。克雷布斯循环的每一圈总计形成 18 个 ATP 分子。因为整个过程涉及到氧和为形成 ATP 而积聚的磷酸基,所以这整个过程叫做**氧化磷酸化**,这是活组织的一个关键反应。如果这个反应受到任何严重干扰(如一个人吃了氰化钾),几分钟之内就会致死。

参加氧化磷酸化的全部物质和酶都包含在细胞质内的小颗粒里。这些颗粒是德国生物学家本达 1898 年首先发现的,当然,当时他并不了解它们的重要性。他把它们称为**线粒体**(他误认为它们是"软骨的丝"),这个名称就这样保留下来。

一般线粒体呈橄榄球形,约 1/10 000 英寸长,1/25 000 英寸粗(1 英寸=2.47 厘米)。一个一般细胞含有大约几百个到上千个线粒体。非常大的细胞可以含有几十万个,而厌氧菌里一个也没有。第二次世界大战以后,电子显微镜的研究证明,线粒体虽然很小但有自身的复杂结构。线粒体有一个双层膜,外膜光滑,内膜精巧地折叠成脊,以增大表面积。沿着线粒体的内层表面有几千个叫做**基粒**的微小结构。看来这些基粒就是进行氧化磷酸化的实际

场所。

脂肪的代谢

在此期间，生物化学家在研究脂肪的代谢方面也取得了进展，已经知道，脂肪分子是碳链，它们可以水解成**脂肪酸**（最常见的有16个或18个碳原子长），并且每次可以从分子上分解两个碳。1947年，F.A.李普曼发现了一种相当复杂的化合物，它在**乙酰化**中起作用，即把一个二碳片段由一种化合物转移给另一种化合物。他把这种化合物叫做**辅酶**A（A代表乙酰化）。3年以后，德国生物化学家吕南发现辅酶A与脂肪的分解有密切关系。辅酶A一旦附着在一个脂肪酸上，就会接连发生四个步骤的反应，最后在辅酶A附着的链的那一端的末尾断掉两个碳原子；接着另一个辅酶A分子附着在剩余的脂肪酸上，再断掉两个碳原子，这样继续进行下去。这个过程叫做**脂肪酸氧化循环**。由于这项成就和其他成果，吕南分享了1964年的诺贝尔医学与生理学奖。

一般说来，蛋白质的分解显然一定比碳水化合物或脂肪的分解复杂得多，因为蛋白质的分解涉及到二十来种不同的氨基酸。在某些情况下这个分解过程比较简单：一个氨基酸上有一种微小的变化就可能把这个氨基酸变成一种能够进入柠檬酸循环的化合物（如脂肪酸断掉的两个碳的片段那样）。但是氨基酸主要还是通过复杂的途径分解的。

现在我们再回到蛋白质转变成尿素上来，这个问题我在酶一节中已经谈过了。这种转变碰巧比较简单。

有一个原子团是尿素分子成为精氨酸侧链的一部分所必不可少的。这个原子团可以被一种叫做**精氨酸酶**的酶截下来，剩下一种被截短的氨基酸，叫做**鸟氨酸**。1932年，克雷布斯和他的一位同事亨斯雷特，在利用大鼠肝组织研究尿素的形成时发现，当他们

把精氨酸加到大鼠肝组织里时，大鼠肝组织产生大量的尿素——实际上，远远超过他们加入的精氨酸的每个分子都分解所能产生的量。克雷布斯和亨斯雷特断定，精氨酸一定起着使尿素反复产生的催化剂的作用。换句话说，在精氨酸分子被精氨酸酶截去其尿素结合部分以后，剩下的鸟氨酸又从其他氨基酸中获得氨基（加上从体内得到的二氧化碳），重新形成精氨酸。就这样精氨酸分子反复分解，再形成，再分解，一直进行下去，每次都产生一分子的尿素。这个过程叫做**尿素循环**，也叫做**鸟氨酸循环**或**克雷布斯-亨斯雷特循环**。

利用精氨酸除去氮以后，剩下的氨基酸的**碳主链**就可以通过各种途径分解成二氧化碳和水，同时产生能量（碳水化合物、脂肪和蛋白质的新陈代谢全过程见图 12－5）。

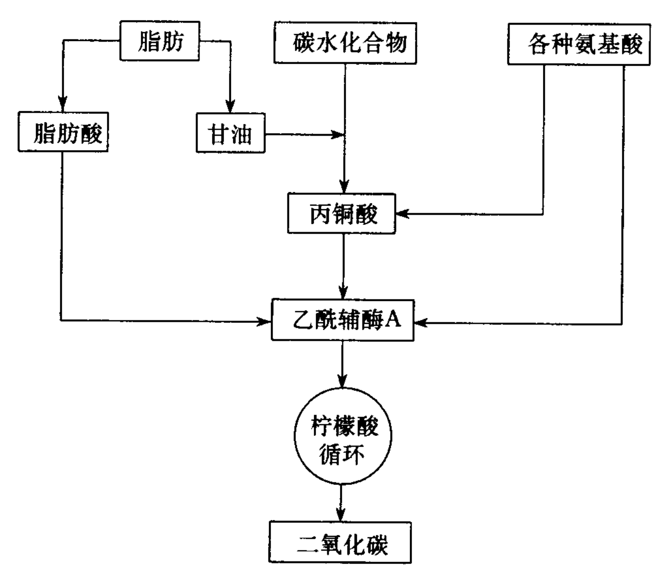


图 12－5 碳水化合物、脂肪和蛋白质新陈代谢全过程示意图

示踪剂

虽然可以利用所有这些方法对新陈代谢进行研究，但是仍然使化学家们好像处于一种从屋外向里观瞧的境地。他们能够说明总的循环，但要查明活的动物体内实际发生的情况，他们需要一些追踪的方法，非常详细地了解新陈代谢各个阶段的各种事件的过程，也就是追踪各种特定分子的实际命运。实际上，在本世纪初就发现了追踪的技术，但是化学家们未能很快地充分利用这些技术。

首先沿着这个途径开创前进的是德国生物化学家努普。1904年，他想出了一个方法：用带有标记的脂肪分子喂狗，然后观察这些分子会发生什么变化。他把一个苯环连接在链的一端，给脂肪分子做上标记；他使用苯环是因为哺乳动物体内没有能够分解苯环的酶。努普推想：苯环在尿中出现时所携带的东西可能会告诉我们一些有关脂肪分子在体内怎样分解的情况。他的推想是正确的：排出的苯环总是附带着一个双碳的侧链。他由此推断，身体一定是每次从脂肪分子上分解出两个碳原子。（前面我们已经看到，40 多年后，对辅酶 A 的研究证实了他的推断。）

一般脂肪上的碳链都含有偶数的碳原子。如果使用链上含有奇数碳原子的脂肪又会如何呢？在这种情况下，要是一次截去两个碳原子的话，最后在苯环上就会只附带一个碳原子。努普用这种脂肪喂狗，最后的结果果然如此。

努普在生物化学上使用了第一种**示踪剂**。1913 年，匈牙利化学家赫维西和他的同事德国化学家帕内特想出了另一种标记分子的方法：放射性同位素。他们从利用放射性铅开始。第一个生化

实验就是以铅盐溶液的方式测量一棵植物吸收了多少铅。由于植物吸收铅的量确实太小了,用任何可以利用的化学方法都测量不出来。但是,如果使用放射性铅,利用铅的放射性就很容易测量出来。赫维西和帕内特给植物施加上这种带有放射性标记的铅盐溶液;每过一段时间,他们就烧掉一颗植物,然后测定它的灰烬的放射性。用这种方法,他们能够确定植物细胞吸收铅的速率。

但是苯环和铅是非常不利于生理的物质,用它们来作标记很容易破坏活细胞正常的化学反应。最好能够使用实际参与体内一般代谢作用的原子(如氧、氮、碳、氢、磷等原子)来作标记。

1934 年约里奥-居里夫妇证实了人工放射性以后,赫维西立即转到这个方向上来,开始使用含有放射性磷的磷酸盐。他用这种盐测定了植物中磷酸盐的吸收量。遗憾的是,活组织中的一些主要元素的放射性同位素(尤其是氮和氧)是不稳定的,因为它们的寿命很短,最多只有几分钟的半衰期。但是,一些最重要的元素中的确有可以用作标记的**稳定同位素**。这些同位素是碳-13、氮-15、氧-18 和氢-2。在通常情况下,它们产生的量非常小(大约为 1%或更少)。比方说,在氢-2 中,“浓缩”天然氢就可以使氢作为含氢分子的特殊标记进入身体,而任何化合物中有重氢都可以用质谱仪探测出来。质谱仪是利用重氢多余的重量将重氢分离的。这样,人们就可以在全身追踪带有标记的氢的命运了。

事实上,氢是人们使用的第一种生理示踪剂。1931 年尤里分离出氢-2(氘),这时人们可以用氘来示踪了。用氘作为示踪剂最先弄清楚的几件事情之一是,体内的氢原子并不像人们曾经认为的那样固定在它们的化合物上。结果证明,它们总是从一种化合物到另一种化合物,穿梭般地来回跑动,在糖分子、水分子等的氧原子上不停地交换位置。因为无法把一个一般的氢原子与另一个相区别,所以,如果没有氘来泄露,这种穿梭活动是发现不了的。

这一发现表明，氢原子在体内到处跑动，如果把氚原子附着在氧上，那么，不管有关化合物是否发生全部的化学变化，氚原子都会散布到全身。因此，研究人员必须查明，在一种化合物中发现的氚原子是通过某种确定的酶促反应到那里去的，而不只是通过穿梭或交换的方法跑去的。可庆幸的是，附着在碳上的氢原子不交换，所以，沿碳链发现的氚具有代谢的意义。

1937 年，德国出生的美国生物化学家舍恩海默和他的同事们开始使用氮-15，进一步强调了原子的游动习性。他们用带有氮-15标记的氨基酸喂养大鼠，过一定的时间以后把大鼠杀死，然后分析大鼠的组织，看哪些化合物中带有氮-15。他们又一次发现交换是重要的。一个带有标记的氨基酸进入身体以后，很快就发现几乎所有的氨基酸都带有氮-15。1942 年，舍恩海默出版了一本书，名为**《身体成分的动态》**。这个书名就说明了同位素示踪剂给生物化学带来的新面貌。原子完全摆脱实际化学变化，在繁忙的道路上不断地往返游动。

使用示踪剂使人们对代谢过程逐渐有了详细的了解。它进一步证实了诸如糖的分解、柠檬酸循环以及尿素循环的总图式。它使人们认识了更多新的中间产物，找到了许多其他的反应途径，等等。

由于核反应堆的发展，在第二次世界大战以后有 100 多种不同的放射性同位素可以大量利用，示踪研究工作进入了高速发展阶段。一般的化合物在反应堆中用中子轰击，取出后就会带有多种放射性同位素。在美国(我大概可以说几乎是在全世界，因为美国很快就制造了供其他国家科学研究使用的同位素)每一个生物化学实验室都已经开始利用放射性示踪剂进行研究工作了。

现在，稳定同位素中又增加了放射性氢(氚)、放射性磷(磷-32)、放射性硫(硫-35)、放射性钾(钾-42)、放射性钠、放射性碘、放

射性铁、放射性铜和最重要的放射性碳(碳-14)。碳-14 是由美国化学家卡门和鲁宾 1940 年发现的。使他们感到惊奇的是,经证明碳-14 的半衰期是 5 000 多年——人们从未想到轻元素中会有一种半衰期这么长的放射性同位素。

胆固醇

碳-14 解决了化学家们多年来未能解决而且他们似乎根本无法解决的一些问题。在这些问题中,他们首先解决的一个问题就是**胆固醇**是怎样产生的。维兰德(由于他在研究有关胆固醇的化合物方面的成就,获得 1927 年的诺贝尔化学奖)等人经过多年的艰苦研究,终于提出了如下的胆固醇结构式:

```
                                CH3                           CH3
                                 |                           /
                                CH—CH2—CH2—CH2—CH
                          CH3  /                             \
                      CH2   | CH                              CH
                     /   \  | /  \
                  CH2       C     CH2
             CH3   |        |      |
          CH2  |  CH       CH— CH2
         /   \ | /  \     /
      CH2      C      CH
       |       |       |
      CH       C      CH2
     /  \     / \\   /
   HO    CH2     CH
```

胆固醇在体内的功能还不完全了解,但是很明显这种物质是非常重要的。在神经周围的脂肪鞘里,在肾上腺里,以及在某些蛋白质的结合物里,发现都有大量的胆固醇。过量的胆固醇能够引起胆结石和动脉粥样硬化。最值得注意的是,胆固醇是整个**类固醇族(甾族化合物)**的原型,类固醇的核就是你在以上分子式中所看到的四环结合物。类固醇是一组固态的、类似脂肪的物质,其中包括性激素和促肾上腺皮质激素。毫无疑问,它们都是由胆固醇形成的。但是,胆固醇本身在体内又是怎样合成的呢?

在他们得到示踪剂的帮助以前，化学家们对这个问题毫无认识。最先用示踪剂研究这个问题的是舍恩海默和他的同事里顿伯格。他们让大鼠喝下重水后发现，重水的氘出现在胆固醇分子中。这个结果本身并不重要，因为仅仅通过交换氘就可以到胆固醇分子中去。但是，1942 年（在舍恩海默悲惨地自杀以后），里顿伯格和另一位同事德国血统的美国生物化学家 K.E. 布洛赫，发现了一条比较明确的线索。他们把示踪剂氘连接在乙酸离子（一种简单的二碳基团，$CH_3COO—$）CH_3 基的碳原子上，然后用这种乙酸离子喂大鼠。氘同样出现在胆固醇分子中，这一次它不可能是通过交换到那里去的：它一定是作为 CH_3 基的一部分被结合到胆固醇分子中去的。

二碳基团（乙酸离子就是其中的一种）好像是代谢的一个总交叉路口。这样看来，这种基团很可能起着合成胆固醇的材料库的作用。但是，它们到底是怎样形成胆固醇分子的呢？

1950 年，当可以利用碳-14 的时候，K.E. 布洛赫重复了这个实验，这一次他在乙酸离子的两个碳上分别使用了不同的标记。他用稳定示踪剂碳-13 标记出 CH_3 基上的碳，用放射性碳-14 标记出 COO－基上的碳。他把这种化合物喂给一只大鼠，然后分析大鼠的胆固醇，看这两个带有标记的碳在胆固醇分子的什么地方出现。这种分析是一项艰巨的任务，需要精细的化学技术。K.E. 布洛赫和许多其他实验者为此工作了多年，对胆固醇碳原子的来源一个一个地予以确认。最后形成的图式表明，乙酸基团可能首先形成一种叫做**鲨烯**的物质。这是一种体内非常稀少的三十碳化合物，以前从来没有人想到要给予认真关注。现在它好像是通往胆固醇道路上的一个中间站，生物化学家们怀着强烈的兴趣开始了对它的研究。由于这项工作，K.E. 布洛赫和吕南分享了 1964 年的诺贝尔医学与生理学奖。

血红素的卟啉环

生物化学家们用和解决胆固醇合成大致相同的方法，探索了血红素的卟啉环结构。卟啉环是血红蛋白和许多酶中的一种关键结构。哥伦比亚大学的谢敏用各种方法给甘氨酸作上标记，然后喂鸭。甘氨酸(NH_2CH_2COOH)有两个碳原子。当他用碳-14 标记 CH_2 基的碳时，碳出现在从鸭血中提取的卟啉中。当他标记 COOH 基的碳时，放射性示踪剂不在卟啉中出现。总而言之，CH_2 基参与卟啉的合成，而 COOH 基不参与。

谢敏和里顿伯格合作，发现甘氨酸的分子不仅在活动物体内能够结合到卟啉中去，而且在试管内的红血球里也能结合到卟啉中去。这个发现使事情简单化了，人们可以得到更加明确的结果，而避免宰杀或伤害动物。

后来，谢敏用氮-15 标记甘氨酸的氮，并用碳-14 标记甘氨酸的 CH_2 基的碳，然后把这种甘氨酸与鸭血混合在一起。之后，他小心地剖析了所产生的卟啉，发现卟啉分子中 4 个氮原子全部来自甘氨酸。4 个小吡咯环(分子式见第十一章)的每个环上，都有一个邻近的碳原子来自甘氨酸。在吡咯环之间起桥梁作用的 4 个碳原子也是这样。这样就剩下了卟啉环本身的 12 个其他碳原子和各种侧链上的 14 个碳原子。已经证明，这些碳原子来自乙酸离子，有些来自 CH_2 基的碳，有些来自 COOH 基的碳。

根据示踪原子的分布情况，人们可以推断出乙酸和甘氨酸进入卟啉的方式。首先形成一个单吡咯环，然后两个单吡咯环结合成双吡咯环，最后，两个双吡咯环化合物结合在一起，形成四环卟啉结构。

1952 年，英国化学家韦斯托尔通过一种独立的研究途径分离出了一种叫做**卟啉原(胆色素原)**的纯化合物。因为这种化合物经

常出现在卟啉代谢有缺陷的人的尿里，所以人们怀疑它和卟啉有某种关系。结果证明，它的结构和单吡咯环的结构正好完全相同。谢敏和他的同事们假定，这种结构是合成卟啉最初的步骤之一。卟啉原就是一个重要的中间站。

后来又证明，δ-氨基-γ-酮戊酸（ALA）能够供给红血球合成卟啉环所需要的全部原子。这是一种与半个卟啉原分子的结构相类似的物质。最有说服力的结论是：细胞首先由甘氨酸和乙酸形成δ-氨基-γ-酮戊酸（在这个过程中，甘氨酸的 COOH 基变成 CO_2 而被去掉），而后两个 δ-氨基-γ-酮戊酸分子结合，形成卟啉原（一个单吡咯环），卟啉原再依次先结合成一个双吡咯环，最后结合成四吡咯环的卟啉。

光合作用

在示踪研究所取得的全部成就中，最伟大的大概要属追踪形成绿色植物的一系列复杂步骤了——地球上的全部生命都要依赖于绿色植物。

如果动物只靠互相吞食为生，动物界就不会存在下去。热力学第二定律告诉我们，在循环的每一阶段，都会失去某种东西。任何动物都不能将它吃的食物里所含的碳水化合物、脂肪和蛋白质全部储存起来，也不能全部利用食物里的能量。大部分（实际上，绝大部分）能量必然变成无用的热而被浪费掉。这样，在吃的每一阶段，都会损耗掉一些能量。因此，如果所有的动物都是严格的食肉动物的话，那么在非常少的几代内，整个动物界就会灭绝。实际上，要是这种情况，首先动物界就根本不会出现。

令人庆幸的是,事实上绝大部分动物是食草动物。它们以地里的草、树叶、种子、坚果和水果为食,或者靠吃海草和布满海洋上层的微小绿色植物细胞为生。只有少数动物能够过上食肉的奢侈生活。

至于植物本身,如果没有外来的能源供应,它们的处境也不会比动物好。它们用简单的分子(如二氧化碳和水)合成碳水化合物、脂肪和蛋白质。这种合成需要输入能量,而且植物是从最丰富的能源——阳光那里获得能量的。绿色植物把阳光的能量转变成复杂化合物的化学能,而这些化学能可以养活所有的生命(某些细菌除外)。这个过程是德国物理学家 J.R. 梅耶 1845 年最先明确指出的。J.R. 梅耶是能量守恒定律的创始人之一,因此他特别注意能量平衡的问题。绿色植物利用阳光的过程叫做**光合作用**(源自希腊语,意思是“被阳光聚集在一起”)。

光合作用的过程

17 世纪初期,比利时佛兰芒化学家范黑尔蒙特对植物生长最先进行了科学研究。他把称过重量的土壤倒在一个桶里,在里面种了一棵小柳树。他发现,虽然小树长大了,但是土壤还是同以前一样重。大家对此感到非常惊奇,因为人们一直想当然地认为植物是从土壤中得到它们所需要的物质的。(实际上,植物确实从土壤中摄取矿物质和离子,但摄取的量很小,不容易称量出来。)如果植物不是从土壤中得到所需要的物质,那么,它们是从什么地方得到的呢?范黑尔蒙特断定,植物一定是用水制造它们的物质的,因为他经常给植物浇水。他的推断只有一部分是正确的。

一个世纪以后,英国生理学家黑耳斯指出,植物主要是用一种比水更微妙的原料来制造它们的物质的,这种原料就是空气。半个世纪以后,荷兰医生因根豪茨证实,空气中的养分是二氧化碳。

他还证明，植物在黑暗中不吸收二氧化碳；吸收二氧化碳需要光。与此同时，氧的发现者普里斯特利已经了解到，绿色植物能放出氧。1804 年，瑞士化学家索绪尔证明，正如范黑尔蒙特所指出的那样，水被合成到植物的组织里。

19 世纪 50 年代，法国采矿工程师布森戈在完全没有有机物的土壤里种植植物，于是又有了一个重大发现。他用这种方法证明，植物只能从大气的二氧化碳中得到它们所需要的碳。可是，植物不能在没有氮化合物的土壤里生长，因此，它们从土壤里得到所需要的氮，而不能利用大气中的氮（已经证明，某些细菌除外）。从布森戈时期起人们才明白，土壤供给植物的直接养分仅限于某些无机盐，如硝酸盐和磷酸盐。有机肥料（如粪肥）给土壤增加的正是这些成分。化学家们开始提倡施加化肥，因为化肥既能很好地达到这种目的，又能免除难闻的气味，还能减少传染疾病的危险，已经查出很多疾病与农家粪堆有关。

这样，光合作用过程的轮廓就确定下来了。在阳光下，植物吸收二氧化碳，并把二氧化碳和水化合成自己的组织，在这一过程中放出“剩余的”氧。因此，事情清楚了，绿色植物不仅供给食物，而且更新地球的氧供应。如果没有这种更新的话，那么，几个世纪内，氧就会降到一个很低的水平，大气里就会充满二氧化碳，窒息动物的生命。

地球上的绿色植物制造有机物和释放氧的规模是非常巨大的。俄国血统的美国生物化学家、光合作用的主要研究者拉宾诺维奇估计，地球上的绿色植物每年要化合 1 500 亿吨的碳（来自二氧化碳）和 250 亿吨的氢（来自水），并释放出 4 000 亿吨的氧。在这一巨大成绩中，属于陆地上森林和田野里的植物的只占 10%；90% 我们要归功于海洋里的单细胞植物和海草。

叶绿素

我们还只是有了光合作用过程的轮廓。详细情况又是怎样的呢？1817年，法国的佩尔蒂埃和卡芳杜分离出了一种最重要的植物产物，就是这种产物使绿色植物成为绿色的。因此，他们把这种化合物叫做**叶绿素**(源自希腊语，意思是“绿色的叶子”)。(后来他们还发现了奎宁、马钱子碱、咖啡碱及一些其他特殊的植物产物。)而后，1865年，德国植物学家萨克斯证明，叶绿素并不是一般地弥散在所有的细胞中(尽管叶子看上去绿色很均匀)，而是局限在小的亚细胞体内。这种亚细胞体后来称做**叶绿体**。

现在问题清楚了，光合作用是在叶绿体内进行的。叶绿素对光合作用过程是必不可少的，但是只有叶绿素是不够的。不论怎样小心地提取，所得到的叶绿素本身在试管里都不能催化光合反应。叶绿体通常比线粒体大得多。有些单细胞植物，每个细胞只有一个大的叶绿体。但是，大多数植物细胞含有40来个较小的叶绿体，每一个叶绿体的长和粗都是一般线粒体的2～3倍。

叶绿体的结构看上去比线粒体更为复杂。叶绿体的内部是由许多伸展在壁与壁之间的薄膜组成的。这些薄膜叫做**片层**。在大多数种类的叶绿体中，这些片层在一些地方变厚变深以形成**基粒**，叶绿素分子就是在这些基粒里发现的。

如果把基粒内的片层放在电子显微镜下研究，会看到它们也好像是由刚能看得见的微小单位组成的，就像浴室地面上的瓷砖一样铺得整整齐齐。每一个这样的单位可能就是一个进行光合作用的单元，含有250～300个叶绿素分子。

叶绿体比线粒体更难完整地分离出来。直到1954年，波兰血统的美国生物化学家阿诺恩才从破碎的菠菜叶细胞中获得十分完整而且能够把全部光合反应进行到底的叶绿体。

叶绿体不仅含有叶绿素，而且含有全套的酶及有关的物质，它

们都恰当而巧妙地排列着。叶绿体还含有细胞色素。依靠细胞色素，它可以把叶绿素捕捉到的光能，通过氧化磷酸化，转变成 ATP（腺苷三磷酸）。

叶绿体的情况如此，那么，叶绿体中最有代表性的物质叶绿素的结构又是什么样的呢？在几十年的时间里，化学家们利用他们掌握的各种工具来研究这种关键的物质，但进展很慢。最后，1906年，德国的威尔施泰特（即后来发现色谱法的那个人，但他错误地坚持酶不是蛋白质）证明，叶绿素分子的中心部分是金属镁。（由于这项发现及其他关于植物色素的研究，威尔施泰特获得 1915 年的诺贝尔化学奖。）威尔施泰特和H. 费歇尔继续研究叶绿素分子的结构，这个任务用了整整一代人的时间才告完成。到 20 世纪 30 年代，已经确定，叶绿素有一个基本上和血红素（H. 费歇尔曾破译的一种分子）相类似的卟啉环结构。血红素在卟啉环的中心有一个铁原子的地方，叶绿素则有一个镁原子。

R.B. 伍德沃德消除了对于这一点的一切疑虑。这位合成大师 1945 年合成了奎宁；1947 年合成了马钱子碱；1951 年合成了胆固醇；1960 年他又创造了新记录，合成了一种与威尔施泰特和 H. 费歇尔所提出的分子式完全符合的分子，而且，请注意，这种分子具有从绿叶中分离出来的叶绿素的全部性质。由于这项成就，R.B. 伍德沃德获得了 1965 年的诺贝尔化学奖。

叶绿素在植物里到底催化了什么反应？直到 20 世纪 30 年代，人们所知道的还只是二氧化碳和水进去，氧出来。分离出来的叶绿素不能发生光合反应，这个事实使研究工作更加困难。只有完整的植物细胞（至少也要完整的叶绿体）才能进行光合反应；因此，这个被研究的系统是非常复杂的。

作为最初的猜想，生物化学家们认为，植物细胞首先利用二氧化碳和水合成葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$），然后利用这种葡萄糖，加上土壤

中的氮、硫、磷和其他无机元素，继续合成各种植物物质。

从理论上看，葡萄糖似乎可能是通过一系列步骤形成的，首先把二氧化碳中的碳和水化合(放出二氧化碳中的原子氧)，然后再把这种化合物(CH_2O,即甲醛)聚合成葡萄糖。六个甲醛分子可以合成一个葡萄糖分子。

这种用甲醛合成葡萄糖的过程实际可以在实验室里完成，但方法非常麻烦。人们推测，植物可能具有加速这种反应的酶。诚然，甲醛是一种毒性很大的化合物，但是化学家们猜想，甲醛变成葡萄糖的速度非常快，因而使植物在任何时候只能含有极少量的甲醛。这种甲醛学说是拜耳(靛蓝的合成者)于 1870 年首先提出的，流传了两代人的时间，只是因为没有一种更好的学说取代它。

1938 年，鲁宾和卡门着手用示踪剂探测绿色叶子的化学作用，于是又开始重新研究这个问题。利用氧-18(氧的一种不常见的稳定同位素)，他们获得一个轮廓清楚的发现：结果证明，当用氧-18 只标记上施于植物的水时，植物所放出的氧就带有这种标记；当用氧-18 只标记上供给植物的二氧化碳时，植物所放出的氧就不带有这种标记。简单地说，这个实验表明，植物所放出的氧来自水分子，而不是来自二氧化碳分子。甲醛学说认为植物放出来的氧来自二氧化碳，那是错误的。

鲁宾和他的同事试图通过用放射性同位素碳-11(当时知道的惟一放射性碳)标记二氧化碳的方法，来追踪二氧化碳在植物里的命运。但这个尝试没有成功。一则碳-11 的半衰期只有 20.5 分钟；二则他们当时还没有能够快速而彻底地分离植物里单个化合物的方法。

但是，20 世纪 40 年代初期，他们有了必要的工具。鲁宾和卡门发现了长寿命的放射性同位素碳-14，这样就可以通过一系列的反应来追踪碳。同时，纸色谱法的发展为简易而彻底地分离复杂

的混合物提供了一种手段。(实际上,放射性同位素可以使纸色谱法得到很好的改进;纸上表示示踪剂存在的放射性斑点,会使放在它下面的底片产生黑点,因此,色谱图就能拍下自己的照片,这种技术叫做**放射自显影**。)

第二次世界大战以后,由美国生物化学家卡尔文领导的另一个小组接着进行研究。它们把微小的单细胞植物(**小球藻**)在含有碳-14的二氧化碳里暴露一小段时间,为的是让它只进行最初阶段的光合作用。然后他们把这些植物细胞捣碎,在色谱图上把它们的物质分离,并进行放射自显影。

他们发现,即使这些细胞在有标记的二氧化碳中仅暴露$1\frac{1}{2}$分钟,放射性碳原子就会在细胞内15种不同的物质中出现。通过缩短暴露的时间,吸收放射性碳的物质的数目减少了。最后他们断定,细胞吸收二氧化碳的碳-14而形成的第一种(或接近第一种)化合物是**磷酸甘油**。(他们从未探测到任何甲醛,因此,那个延续了多年的甲醛学说便悄悄地从画面上消失了。)

磷酸甘油是一种三碳化合物。很明显,它一定是通过迂回的途径形成的,因为找不到在它前面的一碳或二碳化合物。他们还找到了两种其他含有磷酸基的化合物,它们都能在极短的时间内吸收带有标记的碳。它们是两种糖:**二磷酸核酮糖**(一种五碳化合物)和**磷酸景天庚酮糖**(一种七碳化合物)。研究者鉴定了催化这些糖有关反应的酶,并研究了那些反应,最后弄清了二氧化碳分子的行径。

首先,把二氧化碳加入五碳的二磷酸核酮糖,形成一种六碳化合物。这种化合物很快分裂成两个,成为三碳的磷酸甘油;紧接着,有关磷酸景天庚酮糖和其他化合物的一系列反应把磷酸甘油聚合在一起,形成六碳的磷酸葡萄糖;同时,二磷酸核酮糖再生了,又吸收另一个二氧化碳分子。人们可以想象,六个这样的循环在

不停地运转着。每转一周，每一个循环提供一个碳原子(来自二氧化碳)，利用这些碳原子合成一个磷酸葡萄糖分子。六个循环再转一周，又生产出另一个磷酸葡萄糖分子，如此反复进行。

从能量的观点来看，这种循环与柠檬酸循环正好相反。柠檬酸循环把碳水化合物的片段转换分解成二氧化碳，而二磷酸核酮糖循环用二氧化碳合成碳水化合物。柠檬酸循环给生物体输送能量；二磷酸核酮糖循环正好相反，它必须消耗能量。

至此正好与鲁宾和卡门早期研究的结果相符。由于叶绿素的催化作用，可以利用日光能把水分子分解成氢和氧，这个过程叫做**光解**(源自希腊语，意思是“由光解开”)。这是日光的辐射能转变成化学能的方式，因为氢分子和氧分子含有的化学能大于分解成它们的水分子所含的化学能。

在其他情况下，要把水分子分解成氢和氧需要大量的能量，例如，要把水加热到大约 2 000℃ 或让强电流从水中通过。但是叶绿素在一般的温度下很容易做到这一点，它所需要的只是可见光的比较微弱的能量。植物利用它吸收的光能，效率至少为 30%，有些研究者认为，在理想的条件下，它的效率可以接近 100%。如果人类能够像植物那样有效地利用能量的话，我们就大可不必担心我们的食物和能量的供应了。

水分子分解以后，有一半的氢原子进入二磷酸核酮糖循环，有一半的氧原子被释放到空气中，其余的氢原子和氧原子重新化合成水。在化合的过程中，它们释放出阳光分解水分子的时候给予它们的多余的能量，而这种能量又被转移给像 ATP 那样的高能磷酸化合物，储存在这些化合物里的能量又被用来推动二磷酸核酮糖循环。由于在破译有关光合作用中的反应方面的贡献，卡尔文获得 1961 年的诺贝尔化学奖。

的确，有些生命形态不依靠叶绿素来获得能量。1880 年前

后，人们发现了**化能自养菌**：在黑暗中吸收二氧化碳但不释放氧的细菌。这些细菌有的靠氧化硫化合物取得能量，有的靠氧化铁化合物，还有的喜欢其他一些古怪的化学行为。

然而也有一些细菌含有类似于叶绿素的化合物（**细菌叶绿素**），因而使这些细菌能够利用光能把二氧化碳转变成有机化合物。在某些情况下，细菌叶绿素甚至能够利用近红外区的光能，而一般的叶绿素却无能为力。但是，只有叶绿素本身才能使水分解，并把这样得到的大量能量储存下来；细菌叶绿素的“设备”能力就小得多，只能凑合着生活。

除了由叶绿素利用阳光获得基本能量以外，其他任何获得基本能量的方法都必定是行不通的；比细菌复杂的生物，只是在非常罕见和特殊的情况下，才有成功地利用这些方法的可能性。对于几乎所有的生命来说，叶绿素和光合作用都直接或间接地是生命的基础。

（王爱琴　译）

第十三章 细 胞

染 色 体

直到近代人类对自己身体的情况一直知之甚少，这实在令人难以置信。实际上，只是在大约300年前，人类才知道了血液循环；只是在最近50多年中，人类才发现了许多器官的功能。

史前人类从切割动物以便烹煮和用香料处理死者以备来世的经历中，了解到人有脑、肝、心、肺、胃、肠和肾等主要器官。在预卜未来和猜测神意的仪式上，经常使用动物的内脏（特别是肝）作为祭礼，这样就进一步增强了对这些器官的认识。埃及人用文字正确地记载了这些手术技术，表明当时对身体的结构已经相当熟悉，这可以追溯到公元前2000年以前。

古希腊人为了了解**解剖学**的知识，甚至解剖动物，有时也解剖人的尸体。他们做了一些难度很大的手术。大约在公元前500年，科罗顿的阿尔克美翁首次描述了视神经和耳咽管。两个世纪以后，在埃及的亚历山大城（当时是世界的科学中心），希罗菲卢斯和他的学生埃拉西斯特拉图斯成功地开办了一所希腊解剖学校。他们研究脑的各个部分，把脑分为大脑和小脑，同时也研究神经和血管。

古代的解剖学在加伦时期达到了顶峰。加伦是一位希腊医生，第二世纪后半叶在罗马行医。加伦提出的关于身体功能的学说，在

其后的1500年中一直被奉为金科玉律。但是他的有关人体的概念充满了荒谬的错误——这是可以理解的，因为古代人是从解剖动物中得到他们的大部分资料的。各种禁忌使人们不敢解剖人体。

早期的基督教作家攻击异教的希腊人，指责他们残忍无情，拿人做活体解剖。但是对这种记载人们是有争议的。人们不仅怀疑希腊人真的对人做过活体解剖，而且很明显他们对尸体的解剖也很不够，因而没有学到多少人体解剖学的知识。无论如何，由于教会反对解剖，使解剖学的研究在整个中世纪完全停顿下来。在这段历史时期接近结束的时候，解剖学在意大利开始再度兴起。1316年，意大利解剖学家蒙迪诺写了第一本专门论述解剖学的著作，因此他以"解剖学的复兴者"而名扬天下。

文艺复兴时期对自然艺术的兴趣也促进了解剖学的研究。在15世纪，列奥纳多·达·芬奇做了一些解剖，从中发现了解剖学的一些新事实，并用天才的艺术能力把这些事实绘画下来。他画出了脊柱的两个弯曲以及穿过面部和额部骨头的窦。他根据自己的研究推导出的生理学理论比加伦的理论进步多了。虽然列奥纳多·达·芬奇在文艺上和科学上都是一个天才，但是在当时他对科学思想的影响并不大。不知道是由于本心不愿意还是由于谨慎，他所有的科学研究成果都没有发表，而收藏在秘密的记事本里，直到他的记事本最终出版发行，后人才发现他在科学上的成就。

法国医生费尔奈尔是近代第一个把解剖当作医生的重要职责的人。1542年，他出版了一本关于解剖的书。但是，第二年又有一部更伟大的著作问世，使他的著作几乎完全失去了光彩。这就是著名的维萨里的**《人体结构》**。维萨里是比利时人，但他的大部分研究工作是在意大利进行的。根据"要正确地了解人类就要对人进行研究"的理论，维萨里解剖了人体，从而纠正了加伦的许多错误。书中的人体解剖图被认为是艺术家提香的学生范卡尔卡所

画，不但十分漂亮而且非常精确，直到今天人们仍在翻印，而且将永远作为经典。维萨里可以说是近代解剖学之父。他的**《人体结构》**和同年出版的哥白尼的**《天体运行论》**一样具有革命性。

正如伽利略使哥白尼引发的革命获得成果那样，维萨里开始的革命也在哈维的重要发现中走向成熟。哈维是一位英国医生和实验家，他与伽利略以及磁学实验家吉伯是同一时代的人。哈维对体内的重要液体——血液特别感兴趣。血液在体内究竟干了些什么呢？

当时已经知道有两套血管：静脉和动脉。（“动脉”一词是公元前 3 世纪一位名叫普拉哈高拉斯的希腊医生提出来的。这个词源自希腊语，意思是“我携带空气”，因为这些血管在尸体内是空的。加伦后来证明，动脉在活体内的功能是运送血液。）当时还知道心跳驱使血液作某种运动，因为当切断动脉时，血液喷出的节奏和心跳是一致的。

加伦曾提出，血液在血管里来回交替流动，先以一个方向流经全身，再以相反的方向流回。根据这个理论，他必须解释清楚血液的来回流动为什么不被心脏两半之间的间壁所阻挡。加伦的答案很简单，他认为间壁上有许多看不见的小孔，可以让血液通过。

哈维对心脏进行了更仔细的观察。他发现，心脏的每一半都分成两个腔，中间由一个单向的瓣膜隔开，血液只能从上面的腔（**心房**）流入下面的腔（**心室**），但不能倒流。换句话说，进入一个心房的血液可以泵入相应的心室，再从心室流入引出的血管，但不能朝相反的方向流动。

后来哈维做了一些简单但非常明确的实验，来确定血管中血流的方向。他把活动物的一根动脉或一根静脉结扎起来，观察在结扎的哪一侧血管的血压会升高。他发现，当他使一根动脉停止流动时，总是心脏和结扎处之间的血管膨胀起来，因此，动脉里的

血液一定是从心脏方向流出来的；当他结扎的是一根静脉时，膨胀的血管总是在结扎处的另一侧，所以，静脉里的血液一定是流向心脏的。还有一个事实可以进一步证明静脉血液的这种单向流动，这就是较大的静脉含有阻止血液流离心脏的瓣膜。这个机制是哈维的老师意大利解剖学家 H. 法布里齐乌斯发现的。但是，在加伦传统的压抑下，他拒绝作出必然的结论，而把荣誉留给了他的英国学生。

哈维继续用定量的方法测量血流（这是人们第一次用数学来解决生物学的问题）。他的测量表明，心脏泵出血液的速率是：20分钟的泵出量相当于体内所含血液的总量。如果认为身体能够以这样的速率制造新血液或消耗旧血液，这似乎是不合理的。因此，合理的结论是，血液一定是在体内反复循环着。因为血液在动脉内流离心脏，而在静脉内流向心脏，所以哈维断定，血液由心脏泵入动脉，然后由动脉流入静脉，再由静脉流回心脏，接着心脏又把血液泵入动脉，如此循环不已。换句话说，血液通过心脏-血管系统连续不断地单向循环着。

包括列奥纳多·达·芬奇在内的早期解剖学家，曾经提示过这种想法，但哈维是第一个详细地论述和研究这个学说的人。他把他的推理和实验发表在一本印刷质量很差的小册子里，书名为**《动物心血运动的研究》**。这本书于 1628 年出版，从那时以来，一直被认为是一部伟大的科学经典著作。

哈维的著作中没有解决的一个主要问题是：血液是怎样由动脉进入静脉的？哈维认为，这两者一定是由某种血管连接着，尽管这些血管很小，肉眼看不见。这使人回想起加伦关于心脏间壁上有小孔的学说，不过加伦所说的这种小孔永远也找不到，因为根本就不存在，而哈维所说的“连接血管”则在显微镜出现后就被证实了。1661 年，仅在哈维去世后的第四年，一位名叫马尔皮基的意

大利医生用原始的显微镜观察一只青蛙的肺组织，发现确实有连接动脉和静脉的微小血管。马尔皮基将这些血管命名为**毛细血**

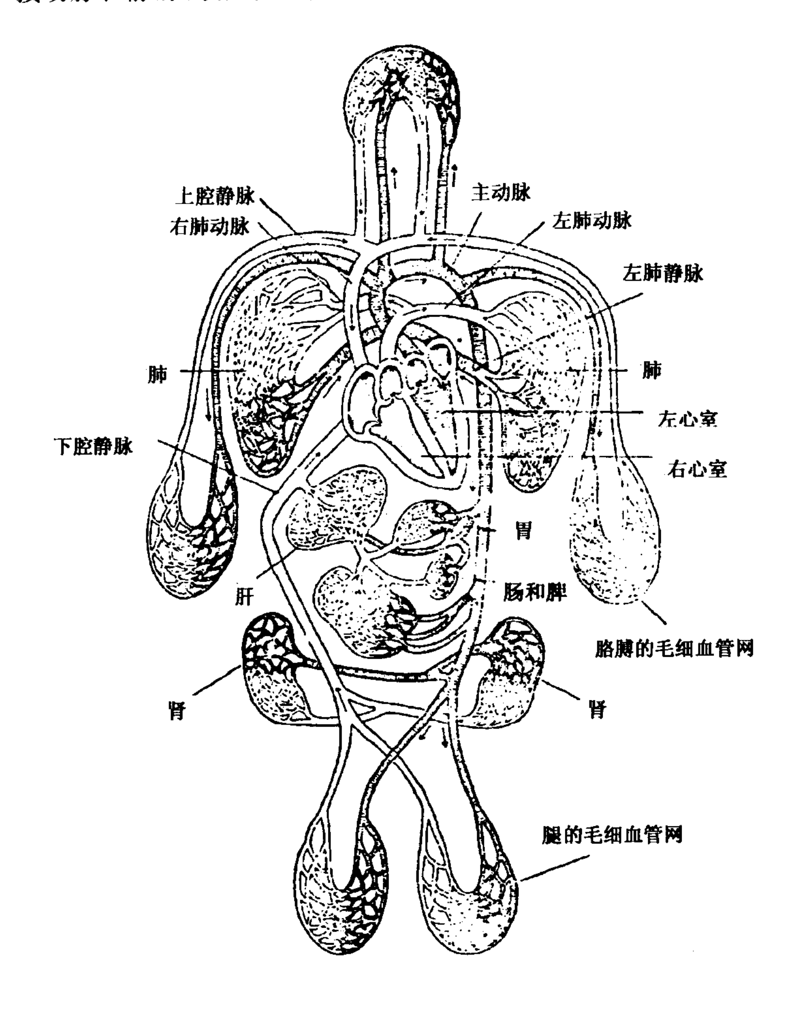


图 13－1 循环系统

管，源自拉丁语，意为“毛发状”。（关于循环系统，见图 13－1。）

利用显微镜还能够看到其他一些细微结构。荷兰博物学家斯旺默丹发现了红血球，而荷兰解剖学家 R. 格拉夫在动物卵巢内发现了微小的**卵泡**。像昆虫这样的小生物也可以仔细地研究了。

如此详细的研究促使人们把一种生物的结构与其他种生物的结构进行细心的比较。英国植物学家格鲁是第一个有名望的**比较解剖学家**，1675 年，他公布了比较各种树木的树干结构的研究成果；1681 年，又发表了比较各种动物的胃的研究成果。

细胞学说

显微镜的出现事实上把生物学家引导到了生物组织的一个更为基本的水平；在这个水平上，所有一般的结构都可以归纳到一个共同的起源。1665 年，英国科学家 R. 胡克利用自己设计的复式显微镜，发现软木是由许多极其微小的“房间”构成的，就像特级的海绵。他把这些小孔叫做**细胞**，并把它们比喻为修道院里的小房间。后来其他显微镜学家在活组织里也发现了类似的细胞，但里面充满液体。

在以后的 150 年中，生物学家逐渐明白，所有的生物都是由细胞构成的，而每个细胞都是一个独立的生命单位。有些形式的生命，如某些微生物，只由一个细胞构成；较大的生物体则是由许多互相合作的细胞组成的。法国生理学家迪特罗谢是最早提出这种看法的人之一。他的报告于 1824 年发表，但没有引起人们的注意；直到德国的施莱登和施万在 1838 年和 1839 年分别发表论文后，细胞学说才开始受到重视。

1839 年，捷克生理学家普尔金耶把某些细胞内充满的胶状液体称为**原生质**（“生命的原始物质”），而德国植物学家莫尔延伸了这个词的含义，用它表示所有细胞的内含物。德国解剖学家舒尔

策强调原生质是“生命的物质基础”，并证明不论是多么简单还是多么复杂的动植物，所有细胞里的原生质基本上是相似的。

细胞学说对生物学的重要性如同原子学说对化学和物理学一样。1860 年前后，德国病理学家菲尔绍用一句简明的拉丁语宣称：“一切细胞都来自细胞。”他证明，病变组织中的细胞是由原先的正常细胞分裂而产生出来的。这样，细胞在生命进程中的重要性便得到了证实。

那时事情已经清楚，各种生物（即使是最大的生物）的生命都是由一个单细胞开始的。最早的显微镜学家之一哈姆（列文虎克的助手）在精液里发现了后来被命名为**精子**的小体。更晚一些时候，1827 年，德国生理学家 K. 贝尔也发现了哺乳动物的**卵**（见图 13－2）。于是，生物学家们开始认识到，一个卵和一个精子结合形成受精卵，受精卵经过反复分裂，最后发育成动物。

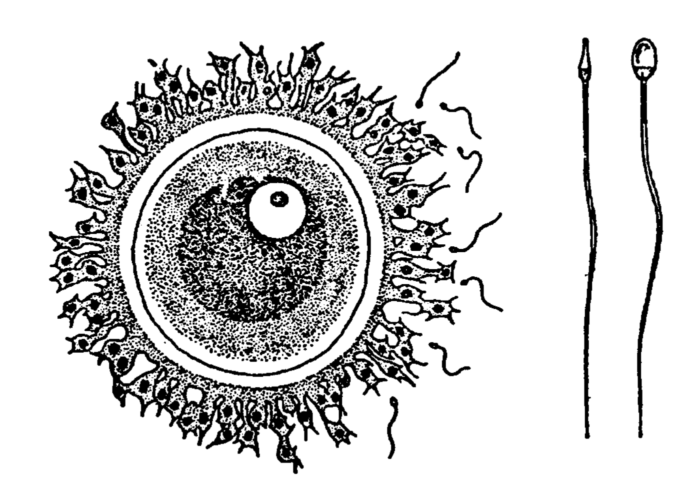


图 13－2　人的卵细胞和精子细胞

大生物的细胞并不比小生物的大，它们只是具有比较多的细胞。这些细胞依然很小，几乎都要用显微镜才能看到。典型的植物或动物细胞直径为5～40微米，而人的眼睛只能勉强分辨出直径在100微米以上的东西。

虽然细胞这么微小，但绝不是毫无特征的原生质小滴。仅在19世纪，人们就逐渐认识到，细胞有着复杂的亚结构。为了解决许多与生命有关的问题，生物学家们必须研究这些亚结构。

例如，既然生物是通过其组成细胞的增殖而生长的，那么，细胞是怎样分裂的呢？答案在细胞里面由比较致密的物质组成的一个小球上，小球的体积大约是细胞的1/10。1831年，布朗（布朗运动的发现者）第一次报告发现了这种小球并命名为**核**。（为了与原子的核区别开来，下面我将称之为**细胞核**。）

如果把一个单细胞生物分成两半，使其中的一半含有完整的细胞核，含有细胞核的一半能够生长和分裂，而另一半则不能。（后来还发现，哺乳动物的红血球没有核，寿命很短，而且既不能生长也不能分裂。因此，不把它们当做真正的细胞，通常称之为**血球**。）

遗憾的是，由于细胞略带透明，不容易看清其亚结构，因此对细胞核和分裂机制的进一步研究停顿了很长一段时间。后来发现某些染料可以给细胞的一些部分染色，而不给其他部分染色，这种情况才得到改善。有一种叫做**苏木精**（得自苏木）的染料能够把细胞核染黑，使它在细胞的背景上清晰地显现出来。在珀金和其他化学家开始制造合成染料以后，生物学家便有了多种可供选择的染料。

1879年，德国生物学家弗勒明发现，用某种红色染料可以把分布在细胞核内的一种小颗粒状的特殊物质染上色。他称这种物质为**染色质**（源自希腊语，意为“颜色”）。通过对这种物质的观察，

弗勒明了解到细胞分裂过程中的一些变化。当然，在染色时染料会杀死细胞，但是在一片组织上，他可以发现处在细胞分裂的不同阶段的各种细胞。他把这些细胞作为静止的画面，按照适当的顺序排在一起，形成一种细胞分裂过程的“动画片”。

1882年，弗勒明出版了一本详细描述细胞分裂过程的重要著作。细胞开始分裂时，染色质聚集成线状，包着细胞核的薄膜似乎被溶解，同时，就在细胞核外面的一个小物体分成了两个。弗勒明称这个小物体为**星体**（源自希腊语，意为“星”），因为四下辐射的线使它看上去像是一颗星。星体分开后，两半在细胞内朝着相反的

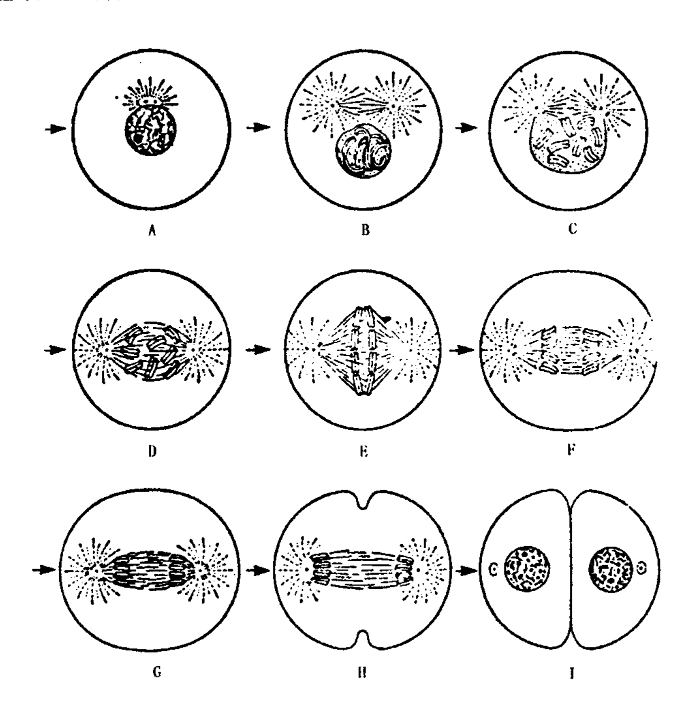


图13－3 细胞的有丝分裂

方向移动；星体拖带的细丝和这时已经排列在细胞中心的染色质细丝显然纠缠在一起；星体把染色质细丝的一半拉到细胞的一侧，一半拉到另一侧；结果，细胞从中间断开，分裂成两个细胞；而后，每个细胞里又形成一个细胞核，被细胞核膜包着的染色质又分解成微粒（见图 13－3）。

弗勒明把这种细胞分裂过程叫做**有丝分裂**，因为染色质丝在分裂过程中起了重要作用。1888 年，德国解剖学家瓦尔德尔把这种染色质丝命名为**染色体**（源自希腊语，意为“有色的物体”），这个名字一直沿用至今。但是，值得一提的是，尽管它们叫染色体，它们在不染色的自然状态下是无色的，和背景非常相似，当然就很难分辨出来了。（虽然如此，早在 1848 年，德国业余植物学家霍夫迈斯特就隐约地看到花细胞里的染色体。）

对染色的细胞继续进行的观察表明，每一种植物或动物的细胞都含有特定数目的染色体。在有丝分裂过程中，细胞未分裂成两个以前，染色体的数目先加倍，因此，分裂后的两个子细胞各自含有与原来的母细胞相同数目的染色体。

比利时胚胎学家范贝内登 1885 年发现，卵细胞和精子细胞形成时，染色体的数目并不加倍，因此，每个卵和每个精子细胞只有生物正常细胞内染色体数目的一半。（所以，产生精子细胞和卵细胞的细胞分裂叫做**减数分裂**。）可是，当卵和精子细胞结合后，这个结合体（受精卵）就有了一整套染色体，一半来自母亲的卵细胞，一半来自父亲的精子细胞。这一整套染色体再通过正常的有丝分裂传递给由这个受精卵发育起来的生物体的所有细胞。

虽然利用染料能够看到染色体，但是要看到它们当中的个别染色体还是不容易，在通常的情况下它们看上去像是一团短粗的面条。所以，在很长一段时间里，人们误以为每个人体细胞含有 24 对染色体。直到 1956 年，经过对这些细胞的更仔细的计算，证

明正确的数目应该是23对。

庆幸的是，这个问题不再存在了。已经发明了一种新技术，以适当的方法用低浓度的盐水对细胞进行处理，使细胞胀大，里面的染色体因而散开，然后把它们拍摄下来，再把照片切成许多段，每一段含有一个单独的染色体。如果把这些染色体配成对，再按照逐渐缩短的顺序排列起来，这样就会得到**核型**，即细胞内连续编号的染色体的图像。

核型为医疗诊断提供了一种精巧的方法，因为染色体的分离并不总是完美无缺的。在细胞分裂过程中，染色体可能被损伤甚至断裂；有时染色体的分离可能不均匀，因而使一个子细胞多得到一个染色体，而另一个子细胞少得一个。这些异常分裂必定会损害细胞的功能，甚至常常使细胞完全丧失功能。（正是这种缺陷使有丝分裂非常准确地进行着——实际上分裂过程并不像看上去那么准确，而是把错误掩盖起来了。）在减数分裂过程中如果发生这些缺陷后果就会特别可怕，因为此时在染色体组中会产生有缺陷的卵细胞或精子细胞。如果一个生物能够从这样一个有缺陷的起点开始发育（一般是不能发育的），则其体内的每个细胞都会有缺陷：结果会造成严重的先天性疾病。

在这类疾病中，最常见的一种是严重的智力低下，叫做**唐恩综合征**（因为英国医生唐恩1886年首次描述了这种病），每1 000个婴儿中就有1个患这种病。

这种病的更通俗的名称是**蒙古型痴呆**（先天愚型），因为它的症状之一是眼睛朝眼睑斜吊，类似一些东亚人内眦赘皮的褶皱。这种病在亚洲人中并不比其他地区的人中多，所以这个名称并不适当。

直到1959年，人们才发现引起唐恩综合征的原因。那一年，三位法国遗传学家勒热纳、戈蒂埃和蒂尔潘计算三个病人细胞里

的染色体,发现每个病人细胞里都有 47 个染色体,而不是 46 个。原来错误发生在第 21 对染色体上,它拥有 3 个染色体。后来,1967 年,又找到了和这种病相对应的一个病例,发现一个智力低下的 3 岁女孩只有一个第 21 号染色体。她是第一个被发现缺少一个染色体的活人。

这种涉及其他染色体的病例似乎很少见,但现在已经发现。患有一种特殊型白血病的病人,在他们的细胞里显示出一小段多余的染色体片段,称为**费城染色体**,因为是在费城医院住院的一位病人身上首次查出这种染色体的。一般来说,在某些不常见的疾病中,断裂的染色体出现的次数比正常情况多。

无性生殖

由含有一半父源染色体和一半母源染色体的受精卵发育形成新个体的过程叫**有性生殖**。人和复杂程度大体上相当于人的生物都是有性生殖。

不过,也可能发生**无性生殖**,新的个体只含有单一亲代的一套染色体。例如,一个单细胞生物分裂为二,形成两个独立的细胞,每个细胞都含有和原细胞相同的一套染色体。

无性生殖在植物界也非常普遍:把某种树木的树枝插进地里便会发根生长,长成和被剪枝的树木完全相同的树木;也可以把树枝嫁接在另一棵树(有时是不同种类的树)的枝杈上,它也能长得很旺盛。这种树枝叫做**克隆**(源自希腊语“树枝”),现在用这个术语来表示任何无性起源的单亲生物。

多细胞动物也会发生无性生殖。动物越原始,即其细胞的变异和特化越少,越容易发生无性生殖。

海绵、淡水水螅、扁虫或海星,都能分裂成好几块,如果把它们置于正常的环境下,每一块都能长成一个完整的生物。这些新生

物即可视为克隆。

甚至像昆虫那样复杂的生物，有时也能生出单亲子代，例如蚜虫就是这样繁殖后代的。在这种情况下，一个只含有半套染色体的未受精的卵细胞，不需要精子细胞就可以繁殖。卵细胞的半套染色体只是自行复制，便会产生一整套完全源自母亲的染色体，然后卵细胞进行分裂，成为一个独立的生物，这也是一种克隆。

但是，一般而言，复杂动物的生殖是绝对有性的，不会自然发生任何形式的无性生殖。不过人的干预可以使脊椎动物发生克隆。

总之，一个受精卵能产生一个完整的生物体，而且当受精卵分裂和再分裂后，每个新细胞都含有与原细胞内相同的一整套染色体。

如果将新细胞分离并置于可以使受精卵发育的条件下，每个新细胞为什么不具有产生一个新个体的能力呢？这大概是因为，在受精卵分裂和再分裂过程中，新细胞**分化**为各种组织细胞，如肝细胞、皮肤细胞、神经细胞、肌肉细胞、肾细胞等等，每种细胞都具有与其他种细胞完全不同的功能，而且大概是染色体发生了微妙的变化才引起这种分化。正是这些微妙的变化使已分化的细胞不能从头开始和形成一个新的个体。

但是，染色体的变化是永久的和不可逆的吗？如果让这些已分化的染色体回到原来的环境中又会如何呢？例如，假设我们得到某种动物的一个未受精的卵细胞，小心翼翼地将细胞核移去，然后从那种动物成体身上取出一个皮肤细胞的核，置入那个卵细胞内。在卵细胞的影响下（目的是促进成体的生长），皮肤细胞核内的染色体是否会受到“青春之泉”的作用而恢复它们原来的功能呢？以这种方式“受精”的卵能够发育成一个含有与被使用皮肤细胞的个体的整套染色体完全相同的新个体吗？这样得到的新个体不就是献出皮肤细胞的动物的克隆吗？

当然，在一个细胞内移去和代换细胞核是一种难度极大的手术，但是 1952 年美国生物学家 R.W. 布里格斯和 T.J. 金成功地完成了这种手术。他们的成功标志着**细胞核移植**技术的开端。

1967 年，英国生物学家格登成功地将一种南非爪蟾的肠细胞的核移植到同种爪蟾的未受精卵中，由那个卵发育成了一个完全正常的新爪蟾——第一个克隆。

要在爬行类和鸟类身上使用这种技术是非常困难的，因为它们的卵细胞包在硬壳里面，因此，为了移入细胞核而用某种方法把壳弄破后，必须保持卵细胞的存活和功能。

哺乳动物的卵细胞又如何呢？这些细胞是裸露的，但保存在母体内；它们特别小而且特别脆弱，因此必须有更精细的显微外科的技术。

然而，细胞核移植技术已经成功地应用在小白鼠身上；而且，原则上讲，克隆可以应用于包括人类在内的所有哺乳动物。

基　　因

孟德尔学说

在 19 世纪 60 年代，一位名叫孟德尔的奥地利修道士，尽管忙于修道院的事务，无暇顾及生物学家对细胞分裂的激情，依然在自己的花园里默默地进行着一些实验，以便最终弄清染色体的意义。孟德尔是一位业余植物学家，他对各种性状的杂交豌豆的结果特别感兴趣。他观察的高明之处在于，每次只研究一种明显确定的性状。

他把种子颜色不同（绿色或黄色）的豌豆杂交，或者把种皮光

滑的豌豆与种皮皱缩的豌豆杂交,或者把高茎的豌豆与矮茎的豌豆杂交,然后观察下一代植株的结果。孟德尔坚持对观察结果进行仔细的统计记录。他的结论可以主要概括如下:

1. 每个性状都是由**遗传因子**所决定的,这些遗传因子(在孟德尔研究的例子中)可以是两种中的一种。例如,一种负责种子颜色的遗传因子会使种子成为绿色;另一种会使种子成为黄色。(为了方便起见,让我们使用现在通用的术语吧。这些遗传因子现在叫做**基因**,是丹麦生物学家约翰森 1909 年提出来的。决定一个给定性状的不同基因叫做**等位基因**,因此,种子颜色基因具有两个等位基因,一个使种子呈绿色,另一个使种子呈黄色。)

2. 所有植株的每个性状都是由两个基因决定的,一个来自母本,另一个来自父本。植株把两者之一传给生殖细胞,因此,当两个植株的生殖细胞通过受粉结合以后,子代再度拥有决定这个性状的两个基因。这两个基因可能是相同的,也可能是等位基因。

3. 当两个亲本植株传给子代的某种基因是等位基因时,一个等位基因可能会压抑另一个等位基因的作用。例如,如果产生黄色种子的植株和产生绿色种子的植株杂交,下一代所有的植株都产生黄色的种子,那么,种子颜色基因中的黄色等位基因是**显性**,绿色等位基因是**隐性**。

4. 尽管如此,隐性等位基因并没有被破坏。在刚才举的那个例子中,绿色等位基因依然存在,虽然没有产生可以看见的效果。如果含有混合基因(即每株都有一个黄色和一个绿色的等位基因)的两个植株杂交,有些子代在受精卵里可能含有两个绿色等位基因;假使是这样的话,这些特殊的子代就会产生绿色的种子,而且子代的子代也会产生绿色的种子。孟德尔指出,源自杂种亲本(父本和母本各自具有一个黄色和一个绿色等位基因)的等位基因有 4 种可能的组合方式:第一种是,父本的一个黄色等位基因和母本

的一个黄色等位基因组合;第二种是,父本的一个黄色等位基因和母本的一个绿色等位基因组合;第三种是,父本的一个绿色等位基因和母本的一个黄色等位基因组合;第四种是,父本的一个绿色等位基因和母本的一个绿色等位基因组合。在这4种组合中,只有最后一种所产生的植株能长出绿色的种子。如果这4种组合发生的概率相等,则新一代应该有1/4的植株产生绿色的种子——孟德尔发现确实如此。

5. 孟德尔还发现,不同性状(例如种子的颜色和花的颜色)的遗传是互不相关的,就是说,黄色的种子和绿色的种子都可能开红花,也都可能开白花。

孟德尔在19世纪60年代初期就完成了这些实验,并把实验的结果写成了论文。他把论文的副本寄给了当时颇负盛名的瑞士植物学家内格里。内格里的答复是否定的。显然,内格里特别爱好那些包罗万象的理论(他自己的理论著作就显得玄虚和华而不实),他认为只数数豌豆对通向真理之路不会有什么价值,何况孟德尔只不过是一个不知名的业余爱好者。

孟德尔好像被内格里的评论弄得失去了信心,因为他又回头专心于修道院的事务。他渐渐发胖(后来胖得在花园里无法弯腰),从而放弃了他的研究。不过,1866年,他仍在奥地利一家地方性的杂志上发表了他的论文。在一代人的时间里,他的论文没有再引起人们的注意。

然而,其他科学家逐渐得到的结论和孟德尔已经取得的结论完全相同(尽管他们不知道孟德尔)。使他们对遗传学发生兴趣的原因之一是对**突变**的研究,即对一直被认为是不祥之兆的畸形动物和怪物的研究。1791年,美国马萨诸塞州的一位叫赖特的农民,对他的羊群中出现的一只畸形羊采用了更加实用的观点。当时有一只羊生下来腿就特别短,这使那个精明的美国农民想到,短

腿的羊不能逃出他农场周围低矮的石头围墙。因此，从那个幸运的意外事件开始，他有意地培育了一种短腿羊。

这个实际的示范激发其他人也去寻找有用的突变。到19世纪末，美国园艺学家伯班克成功地培育出数百种新的植物品种，都在某一方面比老的品种有所改良。这不仅靠突变，而且靠精心的杂交和嫁接。

同时，植物学家也试图寻找对突变的解释。这可能是科学史上最令人惊奇的一次巧合，至少有三个人在同一年里各自独立地得出和孟德尔在一代人以前得出的结论完全相同的结论。这三个人是荷兰的德弗里斯、德国的科伦斯和奥地利的切尔马克·封·赛塞内格。他们都不知道对方的研究，也不知道孟德尔的研究，都准备于1900年发表自己的报告。在最后一次核对这个领域以前的文献时，三人都非常惊讶地发现了孟德尔的论文。三人仍于1900年发表了各自的报告，每个人都提到了孟德尔的论文，把发现的荣誉完全让给孟德尔，而他们自己的工作只是作为证实。

基因的遗传

一些生物学家立即看出，孟德尔的基因和显微镜下看到的染色体之间有联系。第一个把二者相提并论的是美国细胞学家萨顿。他在1904年指出，染色体和基因一样成对出现，一个来自父本，另一个来自母本。这个比拟的惟一麻烦是，任何生物体细胞中染色体的数目远远小于遗传性状的数目，例如，人只有23对染色体，但肯定具有上千种遗传性状。因此生物学家们不得不得出这样的结论：染色体不是基因。每个染色体必定是许多基因的集合。

不久，生物学家们发现了一种研究特定基因的绝好工具，它不是一种物理仪器，而是一种新的实验动物。1906年，在开始时曾怀疑过孟德尔学说的哥伦比亚大学动物学家摩尔根，想出了利用

果蝇进行遗传学研究的计划。（**遗传学**一词是英国生物学家贝特森 1902 年创造的。）

比起豌豆来(或任何一般的实验动物)，用果蝇来研究基因遗传有很多优点：果蝇繁殖得快而且多，用很少的食物便能够轻易地饲养数百只；它们有几十种容易观察到的性状；它们的染色体组成也比较简单——每个细胞只有 4 对染色体。

摩尔根和他的同事们利用果蝇发现了一个关于性别遗传机制的重要事实。他们发现，雌果蝇有 4 对完全配合的染色体，卵细胞从每对中得到一个，因此，就染色体的组成来说，所有的卵细胞都完全相同。而在雄果蝇中，4 对染色体的每一对都由一个正常的染色体(叫做 X **染色体**)和一个发育不全的染色体(叫做 Y **染色体**)所组成。因此，当形成精子细胞时，一半具有 X 染色体，另一半具有 Y 染色体。当一个具有 X 染色体的精子细胞使一个卵细胞受精时，受精卵具有 4 对配合的染色体，自然发育成一个雌果蝇。相反，如果是一个具有 Y 染色体的精子细胞，就会发育成一个雄果蝇。由于两种情况发生的概率相等，所以在有代表性的生物种类中，雌雄的数目大致相等(见图 13-4)。(在某些生物中，

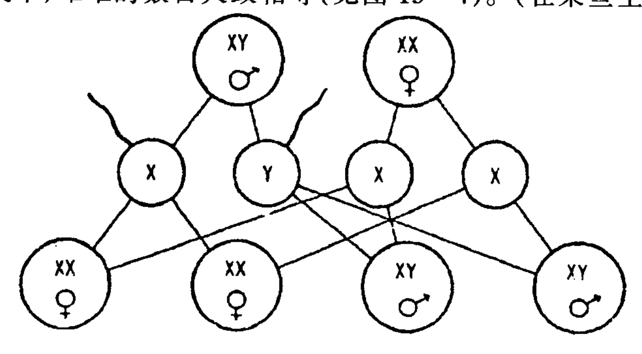


图 13-4　X 和 Y 染色体的组合

尤其是鸟类,具有 Y 染色体的是雌性。)

这种染色体的差别说明了为什么一些疾病或突变只发生在雄性身上。如果一个有缺陷的基因发生在一对 X 染色体的一个上面,这一对中的另一个可能是正常的,因而仍能补救这种情况。但是,在雄性方面,如果一个有缺陷的 X 染色体和一个 Y 染色体配成一对,这种情况一般是无法补救的,因为 Y 染色体只带有极少的基因,因此缺陷就显现出来了。

这种**伴性疾病**的最著名的例子是**血友病**,一种血液很难凝集的病症。血友病患者终身都有因轻微创伤而流血不止或内部出血极端痛苦的危险。一个妇女如果在她的一个 X 染色体上有一个会产生血友病的基因,很可能在另一个染色体的相同位置上有一个正常基因。所以,她表现不出病来。但她将是一个**带基因者**。在她形成的卵细胞中,有一半将带有正常的 X 染色体,另一半带有血友病 X 染色体。如果这个带有不正常的 X 染色体的卵和一个正常男子的带 X 染色体的精子结合,结果会生育一个女孩,她虽然不是血友病患者,但仍是一个带基因者;如果这个卵和一个正常男子的带 Y 染色体的精子结合,由于卵细胞里的血友病基因无法被 Y 染色体抵消,所以生育出来的是一个患血友病的男孩。根据概率,血友病带基因者的儿子,有半数是血友病患者;女儿有半数是带基因者。

历史上最著名的血友病带基因者是英国的维多利亚女王。她的 4 个儿子中只有大儿子利奥波德是血友病患者。而爱德华七世(后来英国的君主就是由他传下来的)不带此病,所以现在英国皇室里没有血友病。不过,维多利亚的两个女儿都是带基因者。其中之一生了一个女儿(也是带基因者),后来嫁给了俄国沙皇尼古拉二世,结果,他们惟一的儿子是血友病患者。这种情况促进了俄国和世界历史的转变,因为尼古拉二世患了血友病,致使拉斯普廷

神父在俄国掌权，进一步引起人民的不满，最终导致革命。维多利亚的另一个女儿也生了一个女儿（也是个带基因者），后来嫁到西班牙皇室，在那里也造成了血友病。因为血友病出现在西班牙的波旁家族和俄国的罗曼诺夫王朝，所以血友病有时也称为**皇室病**。但是除了维多利亚的不幸外，血友病和皇室并没有特殊的关系。

色盲是一种比较轻的伴性疾病，男性患者远比女性多。实际上，缺少一个 X 染色体通常可能造成男性严重虚弱的现象，正好有助于说明女性被 X 染色体保护的事实：妇女生孩子能够免于感染；她们的平均寿命比男性多 3～7 年。那个第 23 对完整的染色体在某种程度上使女性比男性更健康。（近年来，有人提出，男人的寿限比较短是因为吸烟所致，现在女人吸烟者增多，男人吸烟者减少，所以女性死亡率正在赶上来。）

尽管 X 染色体属于最长的染色体，但是 X 和 Y 染色体却被随意地排在核型的末尾。显然染色体异常的情况在性染色体中比在其他染色体中更常见。原因可能不是因为性染色体最容易发生异常的有丝分裂，而大概是因为性染色体异常不大容易致命，所以带有这些异常染色体的小孩出生的较多。

最引人注意的一种染色体异常就是在男性的细胞里最后多出了一个 Y 染色体，所以可以说他是 XYY 型。后来发现，XYY 型的男性很难管理。他们身高体壮，聪明机警，但他们都具有容易激动和粗暴的特征。1966 年在芝加哥杀死 8 名护士的斯佩克被认为是个 XYY 型的人。1968 年 10 月，在澳大利亚一个杀人犯被宣判无罪，因为他是个 XYY 型的人，因此不必对自己的行为负责。苏格兰某监狱里将近 4% 的男囚犯被证明是 XYY 型的。有些估计认为，每 3 000 个男性中就有 1 人发生 XYY 组合。

人们认为应该给每个人进行染色体检查，当然也要给婴儿做检查，似乎是有一定道理的。但是正像其他事情一样，理论上很简

单，做起来却很复杂，现在正在试图使这个过程计算机化。

染色体互换

对果蝇的研究表明，性状并不一定都像孟德尔所认为的那样是独立地遗传的。他所研究的豌豆植株的7种性状，碰巧是由单独染色体的基因控制的。摩尔根发现，控制两个不同性状的两个基因如果位于同一个染色体上，那么，这两个性状通常会一起遗传（正像汽车前座的一位旅客和后座的一位旅客一起旅行一样）。

但是这种遗传连锁不是不可改变的。正如旅客可以换车一样，一个染色体的一段有时也可以换到另一个染色体上，与另一个染色体的一段交换一下位置。这种**染色体互换**可能发生在细胞分裂的过程中（见图13-5）。结果，连锁着的特性被分离，重新组合成新的连锁。例如，有一种红眼卷翅的果蝇，当它和白眼小翅的果蝇交配时，子代通常不是红眼卷翅就是白眼小翅。但是，由于染色体互换，这种交配有时也会产生一个白眼卷翅的果蝇或一个红眼小翅的果蝇。除非发生另一次交换，这种新型在以后各代将保持不变。

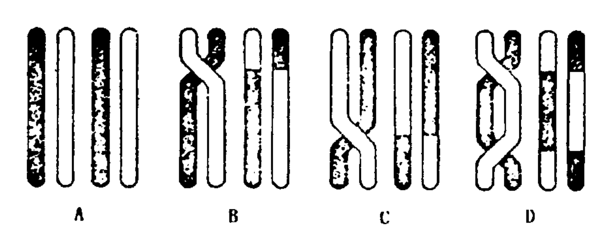


图13-5 染色体的互换

现在，把红眼基因画在染色体的一端，卷翅基因画在另一端。让我们假设，在整个染色体的中央，有两个决定两个其他性状的相邻的基因。很明显，在中间点上发生断裂而把这两个基因分离的

概率，小于在整个染色体许多点上发生断裂而把两端的基因分开的概率。通过记录给定的几对连锁性状靠互换而分离的频率，摩尔根和他的同事们，特别是斯特蒂文特，能够推断出这些基因的相对位置，并用这种方法画出了果蝇基因位置的**染色体图**。这样定出来的位置叫做**基因座位**。

（但是，在生物系统的研究中经常发生这样的情况，即行为有时不像科学家们喜欢假设的那样严格地遵循有关的定律。在 20 世纪 40 年代及以后，美国生物学家麦克林托克仔细地研究玉米的基因，一代一代地追踪，最后得到一个结论：有些基因在细胞分裂过程中可以在一些染色体上相当容易而频繁地交换位置。这个观点似乎与摩尔根及追随摩尔根的生物学家所取得的成果格格不入，所以她没有受到重视，但她是对的。当其他科学家开始寻找基因活动的证据时，已经 80 多岁的麦克林托克却获得了 1983 年的诺贝尔医学与生理学奖。）

根据这种染色体图（以及对在果蝇唾液腺内发现的比一般染色体大许多倍的巨染色体的研究），已经证实，在果蝇的一对染色体中最少含有 1 万个基因，因此，单个基因的分子量应该是 6 000 万。照此估计，人的染色体比较大，每对染色体可能含有 2 万～9 万个基因，或者说，一个人总共含有 200 万个基因。

由于对果蝇遗传研究的成就，摩尔根获得 1933 年的诺贝尔医学与生理学奖。

由于基因知识的不断增多，人们进一步希望有朝一日能够分析和改变一些人的遗传基因：防止发生严重畸形，或者发生了也能矫正过来。这种**遗传工程**需要人的染色体图——与果蝇的情况相比，这显然是一项非常艰巨的任务。1967 年，纽约大学的格林制成了既含小白鼠染色体又含人染色体的杂种细胞，使这项任务以一种令人惊奇的方式变得比较简单了。细胞经过几次分裂以后，

人染色体剩下的相当少，因而比较容易确定它们的活动所起的作用。

1969 年人们朝着了解基因和操纵基因的方向又迈出了一步，美国生物化学家贝克威思和他的同事们在人类历史上第一次分离出一个单独的基因。这个基因是从一个小肠细菌里分离出来的，它控制着糖代谢的一个方面。

遗传负荷

基因偶尔也会以可以计算出的频率发生突然的变化，这种**突变**可以由某种新的意想不到的身体性状表现出来，如农民赖特的短腿羊就是一例。自然发生的突变比较少。1926 年，曾经是摩尔根研究小组成员的遗传学家马勒，发现了一种人工增加果蝇突变率的方法，可以更容易地研究这种变化的遗传。他发现，X 射线可以达到这一目的——可能是使基因受损。马勒的发现促进了对突变的研究，也为他赢得了 1946 年的诺贝尔医学与生理学奖。

结果，马勒的研究引起人们对人类未来种种不安的思想。尽管突变是进化的一个重要的推动力，偶尔能使一个物种产生改进，更适应它的环境，但是这种有利的突变是极少的例外。大分部(至少 99%)的突变都是有害的，有些甚至是致命的。即使那些只有轻微伤害的基因也会消失，因为它们的携带者不能像健康的个体那样生活，留下的后代也比较少。与此同时，一种突变可能造成许多代人的疾病和痛苦；此外，新的突变不断出现，使每个物种都带有大量有缺陷的基因。因此，有 1 600 多种人类疾病被认为是由基因缺陷造成的。

在 20 世纪 30 年代和 40 年代，俄国血统的美国遗传学家多布赞斯基的研究清楚地表明，在正常的人群里不同的基因种类的数目非常大(包括大量有严重危害的种类)。正是这种多样性使进化

向前迈进，但是有害基因的数目(**遗传负荷**)引起人们的恐惧，说明人们的担心是有道理的。

两个近代的发展似乎在不断地增加这种负荷。第一，医学和社会保健的发展往往使带有有害突变的人的残疾得到补偿，至少在繁殖能力方面是如此，例如，视力有缺陷的人可以戴眼镜；胰岛素可以维持糖尿病(一种遗传性疾病)患者的生命，等等。这样，他们就会把有缺陷的基因传给后代。当然，不能设想让有缺陷的人早死或不孕，或者都监禁起来，除非残疾得很厉害，使它不够做一个人，如痴呆和杀人狂。毫无疑问，即使没有人道主义的刺激，人类仍能承受有害突变基因的负荷。

但是对第二个近代的危险就不会那么宽容了。这种危险就是不必要的辐射增加了遗传负荷。遗传的研究无可争辩地证明，对于人类整体来说，即使稍微增加辐射的总量就会相应地稍微增加突变率。自 1895 年以来，人们一直受到多种强烈的辐射，对此前人一无所知。太阳辐射、土壤的天然放射性和宇宙射线一直与人类在一起。但是现在，我们在医学上任意地使用 X 射线；我们浓缩放射性物质；我们制造具有惊人的辐射潜力的放射性同位素；我们甚至爆炸原子弹，所有这些都增加了本底辐射。

当然，没有人认为应该放弃核物理的研究，或者医生绝对不能使用 X 射线。不过，有一个强烈的建议，即要认识到辐射的危险，把辐射量减少到最低限度。例如，X 射线要有区别地小心使用，在每次使用期间都要把性器官防护起来。另一个建议是，每个人都要记下自己的 X 射线积累照射总量，以免超过合理的限度。

血型

当然，遗传学家不能肯定由植物和昆虫实验所得到的定律必定适用于人类，毕竟我们既不是豌豆，也不是果蝇。但是对某些人

的性状的直接研究证明，人的遗传确实遵循同样的定律。最著名的例子就是血型的遗传。

输血是一种非常古老的医疗方法。早期的医生有时甚至试图把动物的血输给因失血过多而身体衰弱的病人。但是即使输人的血，也常常使情况更加恶化，所以曾经有一个时期制定了禁止输血的法律。在19世纪90年代，奥地利病理学家兰德施泰纳终于发现，人血有不同的血型，其中有些血型是互不相容的。他发现，有时把一个人的血液和另一个人的血清样本（血液中去掉红血球和凝集因子后剩下的液体）相混合，前者所有血液中的红血球会凝集在一起。显然如果在输血时发生这种混合是非常危险的，倘若凝集的血块堵塞了重要血管里的血液循环，甚至可能导致病人死亡。但是，兰德施泰纳还发现，有些血液混合后不会引起任何有害的凝集。

到1902年，兰德施泰纳已经能够宣布，人的血液有4种血型，他命名为A、B、AB和O型。任何人都只有其中一种血型的血液。当然，具有同一血型的人可以互相输血而没有危险。此外，O型血可以安全地输给任何血型的人，而A型血和B型血都可以输给AB型的病人。但是，当把AB型血输给A型或B型的人时，当A型血和B型血混合时，或者O型血的人接受任何非O型血时，都会造成红血球**凝集**。（现在，为了避免可能的血清反应，合乎要求的做法是只给病人输自己血型的血。）

1930年，兰德施泰纳（当时已成为美国公民）获得诺贝尔医学与生理学奖。

遗传学家们已经证实，这些血型（以及后来发现的所有其他血型，包括Rh型）都是严格按照孟德尔的方式遗传的。好像有3个等位基因分别负责A、B和O型。如果父母都是O型，则所有的小孩都会是O型。如果父母有一方是O型而另一方是A型，则所

有的小孩可能是A型，因为等位基因A对O呈显性。等位基因B对O同样呈显性。但是等位基因B和等位基因A相对不呈显性，而且同时具有A和B两个等位基因的人是AB型。

因为血型严格地遵循孟德尔的定律，所以可以（而且已经）用血型来鉴定父亲的身份。如果一个O型的母亲生了一个B型的小孩，则孩子的父亲一定是B型，因为那个等位基因B一定要有个来源。如果女人的丈夫碰巧是A型或O型，则证明是女人不贞（或者是医院里把小孩弄错了）。如果一个有B型孩子的O型女人指控一个A型或O型的男人是小孩的父亲，那么她或是弄错了或是在说谎。但是，尽管血型有时能够证明否定的观点，却无法证明肯定的观点。如果这个女人的丈夫或被指控的男人是B型，情况仍得不到证明。任何B型或AB型的男人都可能是小孩的父亲。

优生学

伴性性状的存在也证明孟德尔的遗传定律适用于人类。正如我前面提到的，色盲和血友病几乎只发生在男性身上，而且遗传的方式和果蝇伴性性状的遗传方式一模一样。

于是自然会出现这样一种想法：禁止患这种病的人生育，就能够消灭这种病。通过指导下的适当婚配，甚至人种也可以得到改良，就像家畜的品种已经得到改良一样。这绝不是一个新想法。2500年前，古代的斯巴达人就相信这个观点并试图实行。在近代，英国科学家高尔顿（C.R. 达尔文的一个表兄弟）又使这个想法复活起来。1883年，他创造了**优生学**一词来描述他的构想。

当时高尔顿不知道孟德尔的发现，他不明白为什么一些看起来似乎不存在的性状却被以隐性的方式携带着；他也不理解成组的性状为什么会完整地遗传，而且很难只去掉不想要的性状而不

去掉想要的性状；他更不知道突变会把不想要的性状一代一代地传下去。

虽然如此，想“改良”人种的愿望持续不断，时至今日甚至在科学家中也可以找到优生学的支持者。这些支持者的动机很值得怀疑，因为那些热中于表明可以识别的种族之间重要遗传差异的人，他们自己肯定属于“优等”之列。

例如，英国心理学家伯特发表了对不同种族智力的研究成果，宣称有确凿的证据认为，男人比女人聪明，基督教徒比犹太人聪明，英格兰人比爱尔兰人聪明，上等阶层的英国人比下等阶层的英国人聪明，等等。在每次比较中，伯特自己都属于“优等”种族。他的研究成果被两种人所接受。一种人像伯特那样，认为自己属于“优等”种族；另一种人轻易地相信，那些被划为“劣等”种族的人不是压迫和偏见的受害者，而是自身缺陷的受害者。

但是，在伯特 1971 年去世以后，人们对他的数据产生了怀疑，他的统计数字完美得令人无法相信。人们的怀疑越来越多，1978 年，美国心理学家多尔夫曼能够相当确凿地证明，伯特急于证实他深信不疑但无法用正当的方法证明的论点，便简单地编造了他的数据。

然而，即使这样，晶体管发明者之一的肖克利仍然认为，由于遗传因子的关系，黑人的智力比白人低得多，所以给黑人以同等的机会以使黑人得到改善的企图注定要失败。这个观点使他声名狼藉。德国血统的英国心理学家艾森克也坚持这个观点。

1980 年，肖克利不小心透露出，在他 70 岁时曾献出一些精子，冷冻保存在精子库里，供高智力的志愿妇女受孕时使用。这件事被一些爱开玩笑的人传为笑柄。

我自己的看法是，人类遗传学是一门极其复杂的学科，在可以预见的将来不可能完全搞清楚。因为人不能像果蝇那样又快又多

地生育;因为人的交配不能作为试验在实验室里进行;因为人的染色体和遗传性状比果蝇多得多;因为我们最感兴趣的一些人的性状(如创造性才能、智力和精神的力量)极其复杂,涉及到许多基因的相互作用和环境的影响;由于这一切原因,遗传学家对人类遗传学的研究不像他们研究果蝇遗传学那样有信心。

因此,优生学依然是一个梦想。由于缺乏知识,使它既不明确又无实质,而且还有恶意,因为它很容易被种族主义者和抱偏见者所利用。

化学遗传学

一个基因到底是怎样形成它所负责的身体性状的呢?它是通过什么机制使豌豆的种子呈黄色,使果蝇卷翅,或者使人的眼睛成为蓝色的呢?

生物学家现在已经确定,基因是通过酶起作用的。这方面最清楚的例子之一就是眼睛、毛发和皮肤的颜色。颜色(蓝或棕,黄或黑,红或棕,或介于二者之间的色调)是由色素的量决定的。这种色素叫做**黑色素**,存在于眼睛的虹膜、毛发或皮肤里。黑色素是由一种叫做酪氨酸的氨基酸经过许多步骤形成的,大部分步骤现在都搞清楚了。许多种酶参与了这一过程,而且形成黑色素的量取决于这些酶的多少。例如,其中有一种催化头两个步骤的酶,叫做酪氨酸酶。大概是某个特殊的基因控制着细胞产生酪氨酸酶的过程,从而用这种方式控制皮肤、毛发和眼睛的颜色,而且,因为这个基因一代传一代,所以小孩在颜色上天生就像他们的父母。如果突变碰巧产生一个不能形成酪氨酸酶的有缺陷的基因,这样就会没有黑色素,那个人就会成为一个**白化病人**。因此,缺少一种酶(从而缺少一个基因)就足以使人的性状发生重大变化。

假定一个生物体的性状是由其酶的组成控制的,而酶的组成

又是由基因控制的，那么，下一个问题是：基因是怎样起作用的？可惜，要详细地搞清楚这个问题，连果蝇这样的生物也太复杂了。但是，1941 年，美国生物学家比德尔和塔特姆开始用一种简单的生物体进行此项研究。他们发现有一种生物体非常适合这一目的，它就是普通的红色面包霉（学名为**脉孢菌**）。

脉孢菌不需要特别的营养。只要有糖和能够提供氮、硫及各种矿物质的无机物，它就能生活得很好。除了糖以外，必须给它提供的惟一有机物就是一种叫做**生物素**的维生素。

在它的生活周期的某个阶段，脉孢菌会产生 8 个遗传成分完全相同的孢子。每个孢子都含有 7 个染色体；和高等生物的性细胞一样，孢子的染色体都是单的，不成对。于是，只要有一条染色体发生变化，就能够观察到它的作用，因为没有正常配对的染色体掩盖它的作用。因此，比德尔和塔特姆能够用 X 射线照射制造这种霉菌的突变，然后追踪在孢子行为方面的特殊效果。

如果脉孢菌接受定量的辐射以后，孢子仍能在平常的培养基中旺盛地生活，这就清楚地表明没有突变发生，至少负责生物体生长所需营养的基因没有发生突变。如果孢子在普通培养基中不生长，实验者就把它们放入含有各种维生素、氨基酸以及它们可能需要的其他物质的完全培养基中饲养，进而确定它们是活着还是已死去。如果孢子在完全培养基中生长，结论就是，X 射线产生了改变脉孢菌营养需求的突变。很明显，现在至少需要在它们的食物里增加一种新的物质。为了查明到底需要何种物质，实验者把孢子放入许多培养基内，每个培养基分别缺少完全培养基中的某些物质。它们可能缺少所有的氨基酸或各种的维生素，或者只有一两种氨基酸或一两种维生素。用这种方法，他们逐渐缩小营养需求的范围，直到识别出孢子因为突变现在所需求的食物是什么。

结果证明，有时突变的孢子需要精氨酸。正常的野生种能用糖和铵盐制造自己的精氨酸。现在，由于基因的改变，所以它不能再合成精氨酸；而且如果不在食物中提供这种氨基酸，它就不能制造蛋白质，因此不能生长。

解释这种情况的最明白的方法，就是假定X射线破坏了一个负责合成某种酶的基因，而这种酶是制造精氨酸所必不可少的。因为缺少正常的基因，所以脉孢菌不能再制造这种酶，没有这种酶也就没有精氨酸。

比德尔和他的同事们继续利用这类资料研究基因与代谢化学的关系。例如，有一种方法可以证明，不止一个基因参与了制造精氨酸。为了简便起见，我们假设有两个基因——基因A和基因B——负责合成两种不同的酶，两者都是合成精氨酸所必需的。那么，不论是基因A还是基因B发生突变，都会使脉孢菌失去制造这种氨基酸的能力。假设我们照射两组脉孢菌，在每一组中都产生一株没有精氨酸的霉菌。如果我们幸运的话，一个突变种可能含有一个有缺陷的基因A和一个正常的基因B；另一个突变种含有一个正常的基因A和一个有缺陷的基因B。要想知道是不是这种情况，让我们把这两个突变种在它们生活周期的性阶段进行杂交。如果两个菌株确实有这种区别的话，染色体的重组就会产生一些基因A和基因B都正常的孢子。换句话说，利用两个不能制造精氨酸的突变种，我们可以得到能够制造精氨酸的后代。果然，在进行实验时发生的正是这种情况。

我们可以对脉孢菌的代谢进行比这更详细的探讨。例如，这里有三株不能靠普通培养基制造精氨酸的突变种：一株只有供给精氨酸才能生长；第二株无论得到精氨酸还是瓜氨酸（一种和精氨酸非常类似的化合物）就能生长；第三株靠精氨酸、瓜氨酸或鸟氨酸（另一种类似的化合物）都能生长。

你能据此得出什么结论呢？我们可以猜出这三种物质是连续的三个步骤，最终产物是精氨酸。每一步骤需要一种酶。首先，在一种酶的帮助下，由某种更简单的化合物形成鸟氨酸；然后，另一种酶把鸟氨酸变为瓜氨酸；最后，第三种酶把瓜氨酸变为精氨酸。一株缺少制造鸟氨酸的酶但具有其他酶的脉孢菌突变种，如果供给它鸟氨酸，它仍能活下去，因为它的孢子能够利用鸟氨酸制造瓜氨酸，然后再制造必需的精氨酸，当然靠精氨酸本身也能生长。由于同样原因，我们可以推断出，第二株突变种缺少把鸟氨酸变为瓜氨酸所需要的酶，因此必须给这个菌株提供瓜氨酸（它能够利用瓜氨酸制造精氨酸）或精氨酸本身。最后，我们可以得出这样的结论：只靠精氨酸生长的突变种已经失去了负责把瓜氨酸变为精氨酸的酶（和基因）。

通过分析他们能够分离的各种突变菌株的行为，比德尔和他的同事们创立了**化学遗传学**这门科学。他们研究出生物体合成许多重要化合物的过程。比德尔提出了著名的**一个基因一种酶学说**[①]，就是说每个基因都控制着一种酶的形成，这个学说现在为遗传学家所普遍接受。由于他们的开创性工作，比德尔和塔特姆分享了 1958 年的诺贝尔医学与生理学奖。

异常血红蛋白

比德尔的发现使生物化学家们对蛋白质中（当然，特别是人的各种突变中）由基因控制的变化的迹象警觉起来了。一个与一种叫做**镰形细胞贫血症**的疾病有关的病例意外地出现了，这种疾病

---

① 后来发现，一个基因只能控制合成一条肽链，而一种酶或蛋白质要有几种相同或不相同的肽链结合成一定的空间结构（构型），才具有正常的生理功能，所以，一个基因一种酶的公式被一个基因一条肽链所代替。——译注

是人类 1 600 多种遗传性疾病之一。

这种疾病是美国芝加哥医生赫里克 1910 年首先报道的。在用显微镜观察一个 10 多岁的黑人患者的血液样本时，赫里克发现在正常情况下应为圆形的红血球呈现出各种奇怪而弯曲的形状，其中许多看起来就像新月形的镰刀。其他医生也开始注意这种奇特的现象，患者几乎都是黑人。最后，研究者确认镰形细胞贫血症是一种遗传性疾病，这种疾病遵循孟德尔的遗传定律：显然有一种镰形细胞基因，如果从父母那里得到两个这样的基因，就会产生这些畸形的红血球。这种红血球不能很好地携带氧气，而且寿命特别短，所以血液中缺少红血球。得到两个这种基因的人通常在童年时期就会死去。但是，如果一个人从他父母的一方只得到一个镰形细胞基因，不出现这种病。当一个人严重缺氧时(如在高海拔时)，他的红血球才会出现镰形。这种人被认为有**镰形细胞性状**，而不是有这种病。

已经发现，大约 9%的美国黑人有这种性状，0.25%的人患有这种疾病。在中非的一些地区，表现出这种性状的多达黑人人口的 1/4。很明显，镰形细胞基因起源于非洲的一种突变，此后便由非洲血统的人遗传下来。既然这种病能够致死，那么，为什么这种有缺陷的基因一直没有消失呢？20 世纪 50 年代在非洲的研究找到了这个问题的答案：有镰形细胞性状的人似乎比正常人对疟疾具有更强的免疫力。镰形细胞不知为什么不适合于疟原虫寄生。据估计，在疟疾猖獗的地区，有镰形细胞性状的儿童比没有这种性状的儿童活到生育年龄的机会大 25%。因此，有一个镰形细胞基因(但不是引起贫血的两个基因)反而有利。单个基因的保护作用促使这种有缺陷的基因发展，两个基因的致命作用促使这种基因消灭，这两种相反的倾向往往产生一种平衡，使这种基因在人口中维持在一定的水平上。

在疟疾不严重的地区，这个基因确实在倾向于消失。在美国，开始时黑人中镰形细胞基因的发生率高达25%。即使由于黑人与非黑人的结合，把这个数字降低到估计的15%，目前只有9%的发生率也表明，这个基因在减少。它很可能继续减少下去。如果非洲消灭了疟疾，这个基因在非洲大概也会减少。

1949年，加利福尼亚理工学院（比德尔也在那里工作）的泡令和他的同事们证明，这个基因影响红血球里的血红蛋白：有两个镰形细胞基因的人不能制造正常的血红蛋白。于是，镰形细胞基因的生物化学意义突然显得重要起来。泡令是用一种叫做**电泳**的技术证明这一点的。电泳是利用电流分离蛋白质的一种方法，因为各种蛋白质分子上的净电荷不同。（电泳技术是瑞典化学家蒂塞利乌斯研制出来的，他由于这项有用的贡献获得1948年的诺贝尔化学奖。）利用电泳分析，泡令发现患镰形细胞贫血症的病人具有异常血红蛋白（命名为**血红蛋白** S），这种血红蛋白可以从正常血红蛋白中分离出来。正常血红蛋白被命名为**血红蛋白** A（A表示“成人”），以便和胎儿的血红蛋白（命名为**血红蛋白** F，F表示“胎儿”）区别开来。

自1949年以来，除了血红蛋白S以外，生物化学家们又发现了其他一些异常血红蛋白，并按英文字母的顺序由血红蛋白C命名到血红蛋白M。很明显，负责制造血红蛋白的那个基因已经突变为多个有缺陷的等位基因。每个等位基因都会产生一种血红蛋白，这些血红蛋白在正常的情况下执行分子的功能比较差，但是在某种特殊的条件下也许有用处。因此，正像只有一个基因产生的血红蛋白S能够增强对疟疾的抵抗力那样，只有一个基因产生的血红蛋白C也能增强人体忍受最低含铁量的能力。

既然各种异常血红蛋白的电荷不同，它们肽链上的氨基酸的排列也必定有所差别，因为氨基酸的成分决定着分子的电荷分布

图。这些差别一定非常小,因为各种异常血红蛋白都能勉强执行血红蛋白的功能。要想在一个有600个氨基酸的大分子上找出这种差别,希望同样是很小的。然而,德国血统的美国生物化学家英格拉姆和他的同事们解决了异常血红蛋白的这个化学问题。

他们用一种蛋白质分解酶把血红蛋白A、血红蛋白S和血红蛋白C消化,先把它们分解成大小不同的肽。然后用**纸电泳**把各种血红蛋白的片段分开——即用电流(而不是通过溶液)使分子沿着一张湿的滤纸移动。(我们可以认为这是一种带电的纸色谱法。)当研究者把这三种血红蛋白逐一这样处理后,他们发现三者之间惟一的差别是,一个单肽在每种血红蛋白中出现的位置不同。

他们继续分解和分析这个肽。最后他们了解到,这个肽是由9个氨基酸组成的,而且这9个氨基酸除在一个位置上不同外,在这三种血红蛋白中的排列完全相同。它们的排列分别是:

血红蛋白A:组—缬—亮—亮—苏—脯—谷—谷—赖
血红蛋白S:组—缬—亮—亮—苏—脯—缬—谷—赖
血红蛋白C:组—缬—亮—亮—苏—脯—赖—谷—赖

由此可知,这三种血红蛋白之间惟一的差别在肽的第七位的那个氨基酸上:血红蛋白A是谷氨酸,血红蛋白S是缬氨酸,血红蛋白C是赖氨酸。因为谷氨酸产生负电荷,赖氨酸产生正电荷,缬氨酸不产生电荷,所以这三个血红蛋白在电泳中表现不同就没有什么奇怪的了。它们的电荷分布图不同。

但是,分子上这么微小的变化为什么会造成红血球如此重大的改变呢?原来,正常的红血球里有1/3是血红蛋白A。血红蛋白A分子在细胞里挤得很紧,几乎没有自由移动的余地。简言之,它们处在要从溶液里沉淀出来的程度。一个蛋白能否沉淀出来,部分影响是它所带电荷的性质。如果所有的蛋白都带有相同的净电荷,它们就会相互排斥无法沉淀。电荷越大(即排斥力越

大)，蛋白越不容易沉淀。血红蛋白S分子间的排斥力比血红蛋白A的略微小一点，所以血红蛋白S相应地不易溶解而更容易沉淀。当一个镰形细胞基因和一个正常基因配成对时，正常基因可以形成足够的血红蛋白A，使血红蛋白S保留在溶液内，可是这时生命就岌岌可危了。但是当两个基因都是镰形细胞突变种时，它们就会只产生血红蛋白S。这种分子不能保留在溶液内，它会沉淀成晶体，使红血球扭曲和变弱。

这个学说可以说明，为什么在一个差不多由600个氨基酸组成的分子的每一半上，只改变一个氨基酸，就足以产生一种严重的疾病，而且患者几乎必定夭折。

代谢异常

由于缺少一种酶或由于一个基因的突变而引起的人类缺陷，已经查出的不止是白化病和镰形细胞贫血症。**苯酮尿症**也是一种遗传性代谢缺陷，常常引起智力低下。患者是由于缺少把苯丙氨酸转变成酪氨酸所需要的一种酶。还有一种**半乳糖血症**，能引起白内障并损害脑和肝。已经查明，这种病是由于患者缺少把磷酸半乳糖转变为磷酸葡萄糖所需要的一种酶。还有一种疾病与缺少某种控制**糖原**(一种淀粉)分解和把它转变为葡萄糖的酶有关，这种病会造成肝或其他地方内糖原的异常积累，往往导致夭折。这些都是**先天代谢病**的例子，都是先天缺少正常人所具有的合成某种比较重要的酶的能力。这个观念是英国医生加罗德1908年首先向医学界提出的，但是在一代人的时间里没有人理睬，直到20世纪30年代中期，英国遗传学家霍尔丹再度提请科学家们注意这个问题。

这类疾病通常都是由产生有关酶的基因的一个隐性等位基因控制的。当一对基因中只有一个有缺陷时，那个正常基因能够坚

持下去,患者一般能够过正常的生活(如具有镰形细胞性状的人那样)。只有当父母双方碰巧都具有相同的缺陷基因,而这两个基因又被结合到受精卵里时,通常才会出现麻烦。这时他们的孩子就是一个不幸的受害者了。大概所有的人都带有异常的、有缺陷的、甚至是危险的基因,但通常都被正常基因掩盖了。现在你可以理解为什么人类遗传学家如此关心辐射或任何其他可增加突变率和遗传负荷的东西了。

核 酸

总的来说,遗传上真正值得注意的不是这些惊人的、比较罕见的畸变,而是遗传如此严格地一如往常的事实。一代接着一代,一千年又一千年,基因一直不断地以完全相同的方式复制着自己,并产生着完全同样的酶,只是在偶然的情况下才会意外地偏离蓝图。它们即使在大分子上也不会弄错一个氨基酸。以如此惊人的忠实程度,一次又一次准确地自我复制,它们到底是怎样做到这一点的呢?

这个问题的答案一定在我们称为染色体的长串基因的化学上。染色体的一个主要部分是蛋白质,它大约有一半的物质是由蛋白质构成的。这并不令人惊奇。随着20世纪的消逝,生物化学家们认为,任何复杂的身体功能都与蛋白质有关。蛋白质似乎是身体里最复杂的分子,只有蛋白质分子的复杂程度才足以表现出生命的多面性和敏感性。

可是,染色体蛋白质的主要部分属于组蛋白类,就蛋白质来说,这些分子是相当小的,而且更糟糕的是,它们是由氨基酸的一

种惊人的简单混合组成的。它们的复杂程度似乎远不能决定遗传的精密性和复杂性。诚然，染色体中还有大得多而且更复杂的分子组成的非组蛋白的蛋白质成分，但它们仅占整个染色体的一小部分。

然而，生物化学家们被这种蛋白质难住了。无疑，遗传的机制只能与蛋白质有关。大约一半的染色体是由非蛋白物质组成的，但是似乎任何非蛋白物质都不可能合适。不过，我们仍然必须讨论染色体的这种非蛋白质成分。

一般结构

1869 年，一位名叫米舍尔的瑞士生物化学家在用胃蛋白酶分解细胞的蛋白质时，发现胃蛋白酶并没有破坏细胞核。细胞核缩小了一些，但依然完整无损。经过化学分析，米舍尔发现，细胞核主要是由一种含磷的物质组成的，这种物质的性质与蛋白质毫无相似之处。他称这种物质为**核质**，20 年后发现它是一种强酸，又重新命名为**核酸**。

米舍尔专心致力于研究这种新物质，终于发现几乎全部由细胞核物质构成的精子细胞特别富含核酸。同时，德国化学家霍佩-塞勒从酵母细胞中分离出核酸（米舍尔就是在霍佩-塞勒的实验室里获得他的第一个发现的，而且霍佩-塞勒亲自证实了这个年轻人的工作以后，才同意把它发表）。这种核酸在性质上似乎不同于米舍尔发现的那种核酸，所以把米舍尔发现的核酸命名为**胸腺核酸**（因为它特别容易从动物的胸腺里得到），而把霍佩-塞勒发现的核酸自然地叫做**酵母核酸**。由于开始时胸腺核酸只从动物细胞里提取，酵母核酸只从植物细胞里提取，因此有一个时期人们认为这可能是动植物之间一种普遍的化学差别。

德国生物化学家科塞尔（霍佩-塞勒的另一位学生）是第一个

对核酸分子的结构进行系统研究的人。他经过精心的水解，从核酸里分离出一系列的含氮化合物，并分别命名为**腺嘌呤**、**鸟嘌呤**、**胞嘧啶**和**胸腺嘧啶**，现在知道这些化合物的结构式分别为：

腺嘌呤　　鸟嘌呤

胞嘧啶　　胸腺嘧啶

头两种化合物的双环结构叫做**嘌呤环**，另外两种化合物的单环称为**嘧啶环**。因此，腺嘌呤和鸟嘌呤属于嘌呤类，而胞嘧啶和胸腺嘧啶属于嘧啶类。

由于这些研究引起了一系列富有成果的发现，科塞尔获得1910年的诺贝尔医学与生理学奖。

1911年，俄国出生的美国生物化学家列文（科塞尔的一名学生）又把这项研究向前推进了一步。1891年科塞尔曾发现核酸含有碳水化合物，而现在列文证明核酸含有五碳糖分子。（当时这是一项不寻常的发现，因为大家所熟悉的糖，如葡萄糖，都含有六个

碳。)列文沿着这个发现继续前进,证明两种核酸所含的五碳糖性质不同。**酵母核酸含有核糖,**而胸腺核酸含有一个与核糖非常相似的糖,只比核糖少一个氧原子,所以叫做**脱氧核糖**。它们的结构式分别为:

```
O                       O
 \\                      \\
  CH                      CH
  |                       |
H—C—OH                  H—C—H
  |                       |
H—C—OH                  H—C—OH
  |                       |
H—C—OH                  H—C—OH
  |                       |
  CH2—OH                  CH2—OH
```

核糖　　　　　　　　脱氧核糖

因此,这两种核酸后来分别叫做**核糖核酸**(RNA)和**脱氧核糖核酸**(DNA)。

这两种核酸除含糖不一样外,所含的嘧啶中也有一个不相同。RNA 有一个尿嘧啶代替了胸腺嘧啶。不过,尿嘧啶和胸腺嘧啶非常相似,这一点从结构式上可以看出来:

```
       OH
       |
       C
     //  \
    N     CH
    |     ||
    C     CH
   / \\  /
 HO    N
```

尿嘧啶

到 1934 年,列文已经能够证明,核酸可以分解成含有一个嘌呤(或一个嘧啶)、一个核糖(或一个脱氧核糖)和一个磷酸基的一

些片段。这个组合叫做**核苷酸**。列文提出,核酸分子是由核苷酸构成的,正如蛋白质是由氨基酸构成的一样。他的定量研究表明,核酸分子仅由4个核苷酸单元所组成,一个含腺嘌呤,一个含鸟嘌呤,一个含胞嘧啶,一个含胸腺嘧啶(在DNA里)或尿嘧啶(在RNA里)。

这个提法似乎很有道理。染色体内及其他地方的物质被认为是**核蛋白**,而核蛋白又是由一个带有一个或多个四核苷酸基的大蛋白质分子组成的,四核苷酸基的作用尚不清楚,可能起着某种次要的作用。

但是,后来发现,列文所分离出来的不是核酸分子而是核酸的片段;而且到20世纪50年代中期,生物化学家们发现核酸的分子量高达600万。所以,核酸分子与蛋白质分子大小相当,甚至可能比蛋白质分子还要大。

核苷酸组合和互相连接的确切方式是由英国生物化学家托德证实的。他利用比较简单的片段组合成各种核苷酸,并在只允许有一种键的条件下,小心地把核苷酸连接在一起。他因为这项成就获得1957年的诺贝尔化学奖。

结果,可以看出,核酸的一般结构有点像蛋白质的一般结构。蛋白质分子是由一个多肽主链组成的,从主链向外伸出许多单个氨基酸的侧链。在核酸里,一个核苷酸的糖和另一个相邻的核苷酸的糖利用一个连接两者的磷酸基结合在一起。于是,一个糖-磷酸主链贯穿整个分子,从主链延伸出许多嘌呤和嘧啶,每个核苷酸一个。

这样问题就清楚了,核蛋白是由两部分组成的,每一部分是一个大分子。下一个急需解决的问题是核酸的功能。

DNA

利用细胞染色技术，研究者开始确定核酸在细胞里的位置。德国化学家福尔根使用只染DNA而不染RNA的一种红色染料，发现DNA位于细胞核里，具体地说位于染色体里。他不仅在动物细胞里而且在植物细胞里都发现了DNA。另外，通过给RNA染色，他证明RNA在植物和动物细胞里也都存在。总之，核酸是存在于所有活细胞里的普通物质。

瑞典生物化学家卡斯珀松进一步研究了这个问题。他去掉两种核酸中的一种（利用一种酶把这种核酸还原成可溶的片段，再把它从细胞里洗掉），而集中研究另一种。他对这个细胞进行紫外线照相，因为一种核酸吸收紫外线的能力比其他细胞物质强得多，所以DNA或RNA（不论哪一种留在细胞里）的位置会清楚地显示出来。利用这项技术，DNA只在染色体里出现；RNA主要出现在细胞质里的某些颗粒里，一些RNA还出现在**核仁**（细胞核内的一种结构）里。（1948年，洛克菲勒研究院的生物化学家米尔斯基证明，即使在染色体里也有少量的RNA；塞杰尔则证明，在细胞质里，尤其是植物的叶绿体里，也会出现DNA。1966年，在线粒体里也找到了DNA。）

卡斯珀松的照片表明，DNA位于染色体里的染色带里。DNA分子会不会就是基因？到此时为止基因还是一个非常模糊而无形的东西。

整个20世纪40年代，生物化学家们一直在研究这个问题，兴致越来越高。他们发现，特别值得注意的是，一个生物体细胞里的DNA含量总是恒定不变的，但是，正如所预料的那样，精子细胞和卵细胞都只含有这个量的一半，这是个例外，因为它们所含的染色体只有正常细胞的一半。染色体里RNA和蛋白质的含量可能全部改变，但是DNA的含量依然不变。这似乎确实表明，DNA和基

因之间有着密切的联系。

起初认为蛋白质是只“狗”，核酸只是开始摇动的“尾巴”，后来报道的一些重要观察似乎表明，这条“尾巴”原来就是“狗”本身。

细菌学家对在实验室里生长起来的两株不同的肺炎球菌进行过长期的研究。一株具有由复杂的碳水化合物构成的光滑被膜，另一株没有这种被膜，所以外表显得粗糙。很明显，外表粗糙的菌株缺乏制造被膜所需要的某种酶。但是，一位名叫格里菲思的英国细菌学家发现，如果把已被杀死的外表光滑的细菌和活着的外表粗糙的细菌混合起来，然后注入一只小白鼠体内，这只被感染的小鼠的组织最终会含有活的外表光滑的肺炎球菌！这是怎么回事呢？死肺炎球菌肯定不会复活。一定是某种物质转化了粗糙菌株的肺炎球菌，使它们具有了制造光滑被膜的能力。这某种物质究竟是什么呢？显然，它是光滑菌株的死菌所提供的某种因子。

1944 年，三位美国生物化学家艾弗里、C.M. 麦克劳德和麦卡蒂证认出这种转化因子。它就是 DNA。他们从光滑菌株细菌里分离出纯 DNA，再把纯 DNA 加给粗糙菌株细菌，仅仅这样做就足以把粗糙菌株转化成光滑菌株。

研究者继续分离有关其他细菌和其他特性的转化因子，每种情况都证明转化因子是一种 DNA。只有一个似乎可能的结论：DNA 可以像一个基因一样发生作用。事实上，各种专门的研究，特别是对病毒的研究（见第十四章）都证明，从遗传的观点来看，和 DNA 联合在一起的蛋白质几乎是多余的：不论是在染色体里，还是在像叶绿体和线粒体一类的胞质体里（非染色体性遗传），DNA 自身能够产生全部的遗传效果。

双螺旋

如果 DNA 是遗传的关键，它必定具有复杂的结构，因为它必

须携带一套复杂的图式或指示密码(**遗传密码**),以合成各种特定的酶。如果它是由四种核苷酸组成的,这四种核苷酸不能像1,2,3,4,1,2,3,4,1,2,3,4……那样以一种有规则的排列连在一起。这种分子太简单了,根本不能携带一份适用于各种酶的蓝图。事实上,1948年,美国生物化学家查加夫和他的同事们发现了确切的证据,证明核酸的组成比原来想象的复杂得多。他们的分析表明,各种嘌呤和嘧啶的含量并不相等,而且在不同的核酸里它们的比例也不相同。

一切似乎都表明,四个嘌呤和嘧啶沿DNA主链的分布是没有规则的,正如氨基酸侧链沿肽主链的分布一样。然而,似乎也有一些规律。在任何给定的DNA分子中,嘌呤的总数似乎总与嘧啶的总数相等。此外,腺嘌呤(一种嘌呤)的数目总是等于胸腺嘧啶(一种嘧啶)的数目,而鸟嘌呤(另一种嘌呤)的数目总是等于胞嘧啶(另一种嘧啶)的数目。

如果我们用A表示腺嘌呤,G表示鸟嘌呤,T表示胸腺嘧啶,C表示胞嘧啶,那么,嘌呤就是A+G,嘧啶则是T+C。于是,对任何给定分子的研究结果都可以总结为:

$$A = T$$

$$G = C$$

$$A + G = T + C$$

更多的普遍规律也出现了。早在1938年,阿斯特伯里就指出,核酸能以衍射图的方式散射X射线,表明它的分子里存在着有规则的结构。新西兰出生的英国生物化学家M.H.F.威尔金斯计算出,这些规则结构重复出现的间隔比核苷酸与核苷酸之间的距离大得多。一个合乎逻辑的结论是,核酸分子为螺旋状,螺旋上的圈形成了在X射线下看到的重复单元。这个想法似乎很吸引人,因为当时泡令已经证实了某些蛋白质分子的螺旋结构。

M.H.F. 威尔金斯的结论主要是根据他的同事 R.E. 富兰克林研究 X 射线衍射的成果得出的。R.E. 富兰克林在这些研究中一直未能充分发挥作用，英国科学界歧视妇女的态度是其原因之一。

1953 年，英国物理学家克里克和他的同事美国生物化学家 J.D. 沃森，把所有的资料集中在一起(他们利用了 R.E. 富兰克林的一幅重要照片，显然没有得到她的同意)，提出了一个全新的核酸分子模型。这个模型上的核酸分子不止是一个螺旋，而是双螺旋(这一点是关键)——两个糖-磷酸主链就像一个两边有扶手并绕着同一竖轴上去的螺旋楼梯(见图 13－6)。嘌呤和肽从每个糖-磷酸主链内对着延伸，并且互相连接在一起，就像形成这个双扶手螺旋楼梯的阶梯似的。

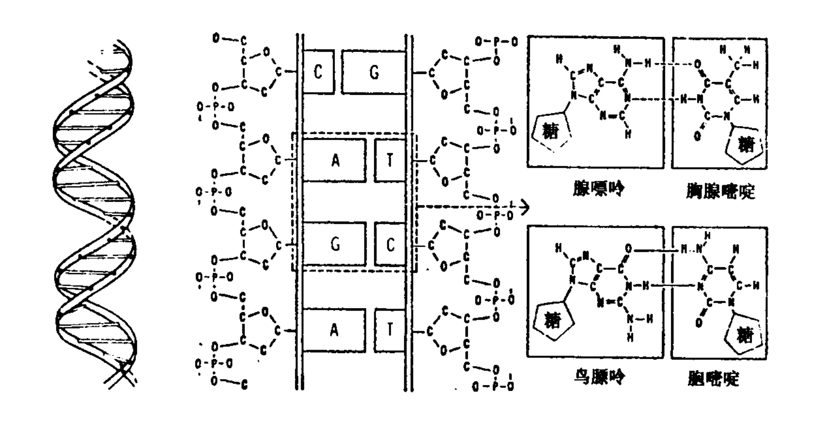


图 13－6　核酸分子的模型。左图表示双螺旋；中图表示部分双螺旋的详细结构(省去了氢原子)；右图表示核苷酸结合的详细情形

嘌呤和嘧啶怎么会沿着这些平行的链排列起来呢？为了使它们都同样合适，一侧的一个双环嘌呤必须总是对着另一侧的一个

嘧啶,从而合起来形成一个三环的宽度。两个嘧啶伸展不到这个宽度,而两个嘌呤又太拥挤。而且,一侧的一个腺嘌呤总要对着另一侧的一个胸腺嘧啶;一个链上的一个鸟嘌呤总要对着另一个链的胞嘧啶。这样,人们就可以解释 A = T、G = C 和 A + T = G + C 这一发现了。

后来证明,核酸结构的这个**沃森-克里克模型**特别富有成效;因此,M.H.F. 威尔金斯、克里克和 J.D. 沃森分享了 1962 年的诺贝尔医学与生理学奖。(R.E. 富兰克林已于 1958 年去世,所以没有提出关于她的贡献问题。)

例如,沃森-克里克模型可以说明在细胞分裂过程中一个染色体怎么会复制自己。我们可把这个染色体看成是一长串 DNA 分子。组成双螺旋的两个单螺旋分离(打个比方说,两个缠在一起的链互相松开),使这些 DNA 分子首先分开。这是可以做到的,因为相对的嘌呤和嘧啶是由微弱的氢键连接的,很容易断开。这样,每个链都是半分子的。这些半分子能够合成自己失去的部分:有胸腺嘧啶的就接上一个腺嘌呤;有胞嘧啶的就接上一个鸟嘌呤;等等。制造这些单元所需要的全部原料和必需的酶,在细胞里都是现成的。半分子只是起一种**模板**(或模子)的作用,把这些单元按正确的次序排在一起。这些单元最终将进入适当的位置并停留下来,因为那是最稳定的排列。

概括地说,每个半分子在形成自身互补链中都起着主导作用,并用氢键把互补链和自己连接起来。用这种方式,半分子重新形成完整的双螺旋 DNA 分子,于是,由原来那个分子分成的两个半分子便在原来只有一个分子的地方形成两个分子。一个染色体上所有的 DNA 都完成这个过程后,就会产生两个和原来的母染色体完全相同的染色体。偶尔也会出现某种差错,例如某种亚原子粒子或高能辐射的冲击,或者某些化学药品的干预,都可能在新染

色体的某个地方引起缺陷,结果形成突变。

支持这种复制机制的证据越来越多。利用重氮标记染色体,然后追踪被标记物质在细胞分裂过程中的命运,这种示踪研究倾向于证实这个学说。此外,人们已经认出与复制有关的一些重要的酶。

1955 年,西班牙血统的美国生物化学家奥乔亚从一种细菌(**固氮菌**)中分离出一种酶,经证明能够催化核苷酸形成 RNA。1956 年,奥乔亚以前的一位学生科恩伯格分离出另一种酶(从**大肠杆菌**中),可以催化核苷酸形成 DNA。奥乔亚进而利用核苷酸合成了类似 RNA 的分子,科恩伯格同样合成了类似 DNA 分子。(他们两个分享了 1959 年的诺贝尔医学与生理学奖。)科恩伯格还证明,给他的酶里加一点儿天然 DNA 作为模板,他的酶就能催化形成一种看上去和天然 DNA 完全一样的分子。1965 年,伊利诺斯大学的施皮格尔曼使用一种活病毒(最简单的一类生物)里的 RNA,制造出了另外一些这类病毒的分子。因为这些另外的分子表现出病毒的基本特性,所以这种方法迄今仍是产生试管生命的捷径。1967 年,科恩伯格和其他人使用一种活病毒里的 DNA 作模板,也完成了同样的实验。

最简单形式的生命里 DNA 的含量很少,例如病毒里只含有一个分子,而且还可以使之更少。1967 年,施皮格尔曼让一个病毒的核酸复制,隔一段时间就选出一些样本进一步复制,时间间隔越来越短。他用这种方法选出了一批复制特别快的分子(因为它们比一般的小)。最后,他把这个病毒缩小到正常大小的 1/6,而把复制的速度提高了 15 倍。

虽然细胞里复制的是 DNA,但许多比较简单的病毒只含 RNA,在这些病毒里复制的是双股的 RNA 分子。细胞里的 RNA 是单股的,不能复制。

然而，单股的结构和复制并不是互相排斥的。美国生物物理学家辛希默发现了一株含有单股 DNA 的病毒。那种 DNA 分子必须复制自己；但它只有单股，怎样进行复制呢？解决这个问题并不难。单股先生产出它自己的互补链，然后互补链再制造出“互补链的互补链”，即原来一股的复制品。

很明显，单股排列比双股排列效率低(这可能就是前者只存在于某些非常简单的病毒里而后者存在于所有其他生物里的原因)。首先，单股自我复制必须经过两个连续的步骤，而双股一步即可完成；其次，现在认为，DNA 分子中只有一股是重要的工作结构，比方说，是分子的“刀刃”，它的互补链可以看成是保护刀刃的鞘。双股表示刀刃不用时被保护在鞘内；单股的刀刃则一直暴露在外面，会经常遭受意外而变钝。

基因活性

然而，复制只是使 DNA 存在下去。那么，DNA 是怎样完成合成一种特定的酶(即一种特定的蛋白质分子)的工作的呢？要合成一种蛋白质，DNA 分子必须指导氨基酸在由几百个或上千个单元组成的分子里按照某种特定的次序排列。对于每一个位置，它都必须从 20 多种不同的氨基酸中选出一个正确的。假如 DNA 分子上有 20 多个与氨基酸相对应的单元，这件事就很容易做到。但是 DNA 是由 4 种不同的构件(4 种核苷酸)构成的。考虑到这一点，天文学家伽莫夫在 1954 年提出，这些核苷酸的各种组合可以作为我们现在叫做的**遗传密码**(就像莫尔斯电码一样，莫尔斯电码可以把点和划以各种方式组合来代表字母、数字等)。

如果你从 4 种不同的核苷酸(A, G, C, T)中一次任取两个，便有 4×4 即 16 种可能的组合(AA、AG、AC、AT、GA、GG、GC、GT、CA、CG、CC、CT、TA、TG、TC 和 TT)。这样仍不够用。如果一次

任取 3 个，便有 4×4×4 即 64 种不同的组合，这样就有剩余了。(如果你觉得有趣，可以试着列出这些不同的组合，看能否找到第 65 种。)

看起来好像每个不同的**核苷酸三联体**或**密码子**都代表一种特定的氨基酸。由于可能有大量不同的密码子，所以也可以用两个或三个不同的密码子代表一种特定的氨基酸。这种情况，密码员称之为**遗传密码简并。**

这样就留下了两个主要问题：哪一种密码子(或一些密码子)与哪一种氨基酸相对应？而且，密码信息(安全地锁在细胞核里，因为只有细胞核里才有 DNA)是怎样到细胞质内形成酶的地方的呢？

如果先考虑第二个问题，很快就会怀疑 RNA 就是这种媒介物质。这个看法是法国生物化学家雅各布和莫诺首先提出来的。这种 RNA 的结构必须和 DNA 非常相似，二者之间存在的差异不能影响遗传密码。RNA 以核糖代替了脱氧核糖，即每个核苷酸上多一个氧原子，并用尿嘧啶代替了胸腺嘧啶，即每个核苷酸上少一个甲基(CH_3)。此外，RNA 主要存在于细胞质中，但是在染色体本身中也有少量存在。

不难看出和证实所发生的情形。偶尔，当 DNA 绕在一起的两股解开时，其中的一股(总是同一股，即刀刃)复制自己的结构，但不是利用形成 DNA 分子的核苷酸，而是利用形成 RNA 分子的核苷酸。这样，这股 DNA 上的腺嘌呤所连接的不是胸腺嘧啶核苷酸而是尿嘧啶核苷酸。这样形成的 RNA 分子，带着在自己的核苷酸模型上的遗传密码，就可以离开细胞核而进入细胞质。

由于它带有 DNA 的**信息**，所以被命名为**信使** RNA，或简称为 **mRNA。**

罗马尼亚血统的美国生物化学家帕拉德由于利用电子显微镜

仔细观察，于 1956 年发现，细胞质内制造酶的地方是一些微小的颗粒，直径约为 2/1000 000 厘米。这些小颗粒富含 RNA，因此被命名为**核糖体**。在细菌细胞里有多达 15 000 个核糖体，而一个哺乳动物细胞里的核糖体大概是这个数字的 10 倍。

它们是最小的亚细胞颗粒或**细胞器**。人们很快就确定，mRNA到达核糖体，把自己铺在一个或多个核糖体上，这样就使核糖体成为合成蛋白质的场所。

美国生物化学家霍格兰又向前迈进了一步。他也曾积极地研究过 mRNA。他证明，细胞质内有许多小 RNA 分子，因为它们小得能够自由地溶解在细胞质液体里，所以可以称为**可溶性** RNA 或 **sRNA**。

在每个 sRNA 分子的一端都是一个特定的核苷酸三联体，这个三联体和 mRNA 链上某地方的一个互补三联体正好配合，就是说，如果 sRNA 三联体是 AGC，它会和 mRNA 上的一个 UCG 三联体紧密配合，而且只能在那里配合。在 sRNA 分子的另一端是一个点，在这个点上 sRNA 只能结合一个特定的氨基酸而不能结合别的。在每个 sRNA 分子上，一端的三联体意味着另一端是一个特定的氨基酸，因此，mRNA 上的一个互补三联体意味着附加在它上面的只能是一个带着某种氨基酸分子的某种 sRNA 分子。大量的 sRNA 分子会一个接一个地完全附加在构成 mRNA 结构的三联体（在一个特定基因的 DNA 分子上模制过的三联体）上。这样，所有排列好的氨基酸便很容易连接在一起，形成一个酶分子。

因为 sRNA 用这种方式把 mRNA 的信息传递给酶的蛋白质分子，所以 sRNA 开始被称为**转移** RNA（简称 **tRNA**），现在这个名字已经确定下来。

1964 年，美国生物化学家霍利领导的一个小组对丙氨酸转移

RNA(附加在丙氨酸上的转移 RNA)分子进行了全面的分析。他们是用桑格的方法进行这种分析的，先用适当的酶把这种分子分解成小的片段，然后分析这些片段并推断它们必须怎样配合在一起。丙氨酸转移 RNA 是被全面分析的第一种天然产生的核酸，结果发现，它是由一个有 77 个核苷酸的链组成的。这些不仅包括在 RNA 中常见的 4 种核苷酸(A, G, C 和 T)，而且包括其他 7 种(在性质上和前 4 种有密切联系)中的一些核苷酸。

最初人们曾经猜想，转移 RNA 的单链会像发卡一样中间弯曲而两端互相缠绕成双螺旋。丙氨酸转移 RNA 的结构并不符合这种假说。它似乎是由 3 个环组成的，所以看上去非常像一棵倾斜的三叶草。在以后的几年中，又对其他一些转移 RNA 分子进行了仔细的分析，似乎都具有同样的三叶草结构。由于这项工作，霍利分享了 1968 年的诺贝尔医学与生理学奖。

基因的结构就这样控制着某种特定酶的合成。当然，还有许多问题需要解决，因为基因并不是简单地始终以最高的速度组织酶的生产。现在基因的工作效率可能很高，过一段时间可能就慢下来，再过一段时间可能完全停止工作。有些细胞以最大的能力制造蛋白质，速度非常快，每个染色体每分钟大约结合 1 500 万个氨基酸；有些只是慢慢地制造；有些根本就不制造；但是在一个给定的生物体内，所有的细胞都具有相同的基因结构。此外，还有一点，生物体内的每种细胞都是高度特化了的，具有自己特殊的功能和化学行为。一个细胞合成某种给定蛋白质的速度可能时快时慢，但是，所有的细胞同样在任何时候都具有相同的基因结构。

很明显，细胞具有阻断和开放染色体 DNA 分子的方法。通过这种阻断和开放的模式，具有相同基因型的不同细胞可以产生不同的蛋白质组合，而一个没有改变基因型的特定细胞可以不时

地产生不同的组合。

1961 年,雅各布和莫诺提出,每种基因都有自己的抑制剂,由一个调节基因负责编码。这种抑制剂可以阻断或释放基因(抑制剂是阻断还是释放取决于其几何构型,细胞内环境的细微变化即可改变它的构型)。1967 年,这种抑制剂被分离了出来,原来是一种很小的蛋白质。结果,雅各布、莫诺和他们的一位同事利沃夫一起获得 1965 年的诺贝尔医学与生理学奖。

自 1973 年以来,经过艰苦的研究,发现 DNA 的长双螺旋似乎在一串组蛋白分子的一个核心周围缠绕形成一个第二螺旋(一个**超螺旋**),所以有一个叫做**核小体**的连续单元。在这些核小体里,有些基因被抑制,有些则具有活性,这要取决于结构的细节;组蛋白可能与那种时常使活性基因抑制或活化的物质有点关系。(照例,一旦深入研究细节,生物系统总是显得比预想的复杂。)

信息的传递并不完全是单向地从基因传给酶,同样也有“反馈”。因而,有一种基因能够形成一种酶,这种酶可以催化苏氨酸转化成异亮氨酸的反应。异亮氨酸的存在不知为什么可以起到激活抑制剂的作用,抑制剂就开始停止这种基因产生导致异亮氨酸存在的那种特定酶。换句话说,当异亮氨酸的浓度增高时,它的合成就减少;如果浓度下降,基因被开放,就会形成更多的异亮氨酸。细胞里的化学机器(基因、抑制剂、酶、最终产物)非常复杂,而且相互间有千丝万缕的联系,因此,不可能很快就全部搞清楚。

但是,还有另一个问题:哪一个密码子同哪一个氨基酸在一起呢?1961 年这个问题开始有了答案,这要感谢美国生物化学家尼伦伯格和马太的研究。他们开始用的是一种人工合成的核酸,是根据奥乔亚的方法只用尿嘧啶核苷酸制成的。这种**多尿苷酸**是由……UUUUUUUU……一个长链构成的,所以只具有一种密码

子 UUU。

尼伦伯格和马太把这个多尿苷酸加到一个含有各种氨基酸、酶、核糖体以及合成蛋白质所必须的所有其他成分的系统里，从这种混合液里偶尔发现了一种只由苯丙氨酸组成的蛋白质，这意味着 UUU 与苯丙氨酸是对等的。**密码字典**的第一个词条找到了。

下一步是从以尿嘧啶核苷酸为主加入少量腺嘌呤核苷酸的溶液里制备一种核苷酸；这样，同 UUU 密码子一起，偶尔还会出现 UUA、AUU 或 UAU 密码子。奥乔亚和尼伦伯格证明，在这种情况下，形成的蛋白质主要是苯丙氨酸，但也偶尔含有亮氨酸、异亮氨酸和酪氨酸。

利用这类方法，使密码字典逐渐扩大。已经发现密码的确有简并的。例如，GAU 和 GAC 可以分别代表天门冬氨酸，而 GUU、GAU、GUC、GUA 和 GUG 全都代表甘氨酸，此外，还代表一些标点符号。密码子 AUG 不仅代表甲硫氨酸，而且显然还表示一条链的开始，可以说它就是一个大写字母；UAA 和 UAG 却表示一条链的终止：它们是句号。

到 1967 年，密码字典就全部完成了(见表 13 - 1)。尼伦伯格和他的同事印度血统的美国化学家科拉纳和霍利一起共同获得 1968 年的诺贝尔医学与生理学奖。

然而，搞清楚遗传密码并不等于有了一个“愉快的结局”，即现在所有的秘密都可以解释清楚了。(科学上大概没有这种愉快的结局，这也是一件好事，因为一个没有秘密的世界该是多么的无趣。)

遗传密码主要是通过细菌实验搞清楚的，而在细菌里染色体和负责蛋白质合成编码的工作基因是挤在一起的。细菌是**原核生物**，它们没有细胞核，但在整个小细胞里分布着染色体物质。

表 13-1 **遗传密码表**

左行是 RNA 四个碱基的字头(尿嘧啶 U,胞嘧啶 C,腺嘌呤 A,鸟嘌呤 G),分别表示密码子三联体的头一个“字母”。顶上横排的四个字头分别表示第二个字母。第三个比较不重要的字母排在最后一行。例如,酪氨酸或用 UAU 编码,或用 UAC 编码。

第一个位置	第二个位置				第三个位置
	U	C	A	G	
U	苯丙氨酸	丝氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	U
	苯丙氨酸	丝氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	C
	亮氨酸	丝氨酸	终止信号	终止信号	A
	亮氨酸	丝氨酸	终止信号	色氨酸	G
C	亮氨酸	脯氨酸	组氨酸	精氨酸	U
	亮氨酸	脯氨酸	组氨酸	精氨酸	C
	亮氨酸	脯氨酸	谷酰胺	精氨酸	A
	亮氨酸	脯氨酸	谷酰胺	精氨酸	G
A	异亮氨酸	苏氨酸	天门冬酰胺	丝氨酸	U
	异亮氨酸	苏氨酸	天门冬酰胺	丝氨酸	C
	异亮氨酸	苏氨酸	赖氨酸	精氨酸	A
	甲硫氨酸*	苏氨酸	赖氨酸	精氨酸	G
G	缬氨酸	丙氨酸	天门冬氨酸	甘氨酸	U
	缬氨酸	丙氨酸	天门冬氨酸	甘氨酸	C
	缬氨酸	丙氨酸	谷氨酸	甘氨酸	A
	缬氨酸**	丙氨酸	谷氨酸	甘氨酸	G

※ 还有甲酰甲硫氨酸,密码子 AUG 为起始信号。

※※ 密码子 GUG 为起始信号。

对有细胞核(除细菌和蓝绿藻以外,所有的细胞都有细胞核)的**真核生物**来说,情况就不同了。整个核酸和工作基因并不是牢固地挤在一起。核苷酸链上用来给 mRNA 编码的那些部分和蛋白质(**外显子**)最终被可以说是毫无意义的链的片段(**内含子**)穿插其间。控制生产一种酶的一个基因可能是由被内含子分开的一些外显子组成的,而核苷酸链的缠绕方式可以把外显子集中在一起给 mRNA 编码。因此,本章前面估计人体细胞里有 200 万个基因,如果是指工作基因的话,则估计得太高了。

真核生物为什么要携带这种似乎非常沉重的负担,至今仍然是个谜。也许基因一开始就是这样形成的。在原核生物里,为了制造比较短的核苷酸链,使它们能够更迅速地复制,以利于更快地生长和繁殖,所以把外显子处理掉了。在真核生物里,外显子没有被删去,大概是因为它们可以提供某种不能立即看到的好处。无疑,这个答案如果找到,一定会非常惊人。

同时,科学家们已经发现直接参与基因活性的方法。1971 年,美国微生物学家内森斯和 H.O. 史密斯对**限制酶**进行了研究。限制酶能够在一个特定的核苷酸连接处(而不是别的地方)以特殊的方式把 DNA 链断开。还有另一种型式的酶,叫做 DNA **连接酶**,能够把二股 DNA 结合起来。美国生物化学家伯格用限制酶把 DNA 的二股切断,再重新组合成与原来型式不同的股。一个重组 DNA 分子就这样形成了,这个分子与原来的不同,大概与以前存在过的任何分子都不同。

这项研究的结果使人们开始能够修饰基因或设计新基因:把它们插入细菌细胞里(或真核细胞的细胞核里),就会形成具有新的生化特性的细胞。结果,内森斯和 H.O. 史密斯分享了 1978 年的诺贝尔医学与生理学奖,而伯格分享了 1980 年的化学奖。

重组 DNA 工作显然有危险。无论是故意还是非故意,如果

制造出的一种细菌细胞或一种病毒能对没有天然免疫力的人类产生毒素,那该怎么办呢?如果这种新的微生物离开实验室,可能会给人类造成无法形容的灾难性的流行病。出于这种考虑,伯格等人1974年呼吁科学家们在研究重组DNA方面要自觉地坚持严格控制。

但是,碰巧后来的经验证明,发生任何不幸事件的危险是很小的。原先的警告太过分了。微生物里置入新基因后,产生的菌株非常弱(一个非天然基因不容易与之共存),即使在最有利的条件下,也只能勉强存活。

而且,重组DNA的研究还可能带来很大的好处,除能够帮助我们进一步了解细胞工作的细节特别是遗传的机制以外,还有更多的直接利益。我们只要适当地修饰一个基因,或插入一个外来基因,一个细菌细胞就可以变成一个小工厂,制造人类而不是其自身所需要的某种物质的分子。

于是,在20世纪80年代,细菌细胞经过修饰已经能够制造人的胰岛素(起了一个不吸引人的名字叫**人岛素**)。因此,总有一天,糖尿病患者将不再依赖于从被屠宰动物的胰脏里所得到的必然有限的供应,也不再使用供应充足但不理想的牛和猪的胰岛素。

利用适当修饰过的微生物还可以得到其他蛋白质,例如干扰素和生长激素,而且出现了无限的可能性。现在已经提出创造新形式的生命能否申请专利的问题,对此人们不会感到惊奇。

生命的起源

当我们开始认真研究核酸分子时，我们就接触到我们能够接近的生命的基础了。的确，这是生命本身最重要的物质。要是没有 DNA，生物就不会繁殖，我们所说的生命也就不会开始。生命的各种物质（酶以及由酶催化产生的所有其他物质）归根到底都是由 DNA 决定的。那么，DNA 和生命是怎样开始的呢？

这一直是科学上不敢提出的一个问题，因为生命的起源与宗教信仰的结合比地球和宇宙的起源更加牢固。时至今日，人们仍然只是以犹豫和辩解的态度对待这个问题。苏联生物化学家奥巴林写了一本名为**《生命的起源》**的书，把这个问题提到了一个显著的地位。这本书 1924 年在苏联出版，1936 年发行了英译本。在这本书里，完全按照唯物主义的观点第一次详细地论述了生命起源的问题。由于苏联不像西方国家那样受到宗教顾虑的压抑，所以这本书的出版不足为奇。

早期的学说

大部分的早期文化都发展出一些神话，讲述上帝或精灵创造第一批人类（有时还有其他形式的生命）的过程。然而，很少有人认为生命本身的形成完全是神的特权，至少，低等生物可能是由非生物自然产生的，没有神的干预。例如，昆虫和蛆可能来自腐烂的肉，青蛙来自泥土，老鼠来自霉烂的小麦。这种想法是根据实际观察得来的，举一个最明显的例子，腐烂的肉的确会突然长出蛆来。人们自然会设想，蛆是由肉形成的。

亚里士多德相信**自然发生说**。中世纪的一些大神学家如托马斯·阿奎那也都相信。还有哈维和牛顿。说到底,一个人亲眼看到的证据是很难驳倒的。

第一个用实验验证这个信条的是意大利医生雷迪。1668 年,他决定检验一下蛆是否真是由腐烂的肉形成的。他把肉块分放在数个罐子里,一些罐子口用细纱布盖上,另一些敞开着。结果,只有敞口罐子里的肉生了蛆,苍蝇可以自由出入这些罐子。雷迪由此断定,苍蝇在肉上产下极其微小的卵,蛆是由这些卵产生的。他强调,如果没有苍蝇和卵,不管肉腐烂多久,也不会生蛆。

仿效雷迪的实验者证实了这个发现,于是,人们不再认为看得见的生物来自无机物了。但是,在雷迪时期以后不久,人们发现了微生物,许多科学家断定,至少这些形式的生命是由无机物变来的。即使在纱布盖着的罐子里,肉很快也会开始长满微生物。在雷迪实验后的两个世纪里,微生物可能使自然发生的信念一直非常盛行。

首先对这个信念表示严重怀疑的还是一位意大利人,他就是博物学家斯帕兰札尼。1765 年,他摆出两组盛有肉汤的烧瓶,一组开着口,暴露在空气里;另一组则先煮沸,杀死里面已有的任何生物,然后再密封起来,不让可能在空气中浮动的任何生物进入。第一组烧瓶里的肉汤很快就长满微生物,但煮沸后密封的肉汤却一直保持无菌。斯帕兰札尼满意地证明,即使微生物也不能由无生命的物质产生。他甚至还分离出一个单个的细菌,并看见它分裂成两个细菌。

但这并没有使相信自然发生说的人信服。他们坚持认为,煮沸破坏了某种**生命的要素**,所以在斯帕兰札尼煮沸后密封的烧瓶里无法形成微生物。直到 1862 年,巴斯德才似乎彻底解决了这个问题。他设计了一个烧瓶,装有一个长鹅脖子似的横 S 形瓶颈(见

图 13－7)。他拔去瓶口的塞子,使空气可以进入烧瓶,但灰尘颗粒和微生物不能进入,因为弯曲的瓶颈可以起存水弯的作用,就像厨房洗涤池下面的放泄弯管一样。巴斯德把一些肉汤放进烧瓶,把横 S 形瓶颈装上,再煮沸肉汤直到冒出蒸汽(把肉汤里和瓶颈里的微生物全部杀死),然后等着看发展。结果肉汤仍然无菌,证明空气里没有生命的要素。巴斯德的实验显然把自然发生说永久地埋葬了。

所有这一切都给科学家留下了困惑的种子。如果生命既不是神创的,又不是自然发生的,那么,它到底是怎样出现的呢?

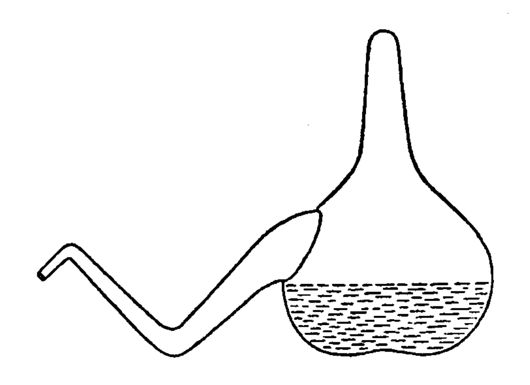


图 13－7　巴斯德检验自然发生说用的烧瓶

到 19 世纪末,一些理论家走向另一个极端,认为生命是永恒的。最流行的一种学说是阿伦尼乌斯(就是提出电离概念的那位化学家)提出来的。1907 年,他出版了一本书,名为**《宇宙在形成中》**,描述了一个一直有生命存在的宇宙,这些生命穿过空间进行迁移,不断在新的星球上开拓居住地。生命是以孢子的形式旅行的,孢子随意移动逃出星球的大气层,然后在太阳光压力的推动下穿过空间。

光的压力是一种可能的推动力，这种说法并不可笑。麦克斯韦就首先预言辐射压力在理论上是存在的，而 1899 年俄国物理学家列别捷夫用实验证明这种压力确实存在。

当时，阿伦尼乌斯的观点认为，孢子被光辐射推动着，不断地在星际空间里到处旅行，直到它们死去或落在某个星球上，在那里它们会生长成活跃的生命并与已经存在的生命竞争，如果那个星球还没有生命居住而又适合居住，它们就会给那个星球带去生命。

乍一看，这个学说显得很有吸引力。细菌孢子被一层厚被膜保护着，非常耐冷和耐脱水，可以想象在真空的空间里会存活很长的时间。而且，它们的大小正好使它们受太阳辐射向外压力的作用大于太阳重力的向内引力。但是阿伦尼乌斯的说法在紫外线的攻击下失败了。1910 年，实验家们证实，紫外线能够迅速杀死细菌孢子；而且在星际空间太阳的紫外线是很强的，更不要说其他一些破坏性的辐射（如宇宙射线、太阳的 X 射线以及像环绕地球的范艾伦带那样的带电粒子区等）了。可以设想某个地方可能有抗辐射的孢子，但是，据我们所知，由蛋白质和核酸构成的孢子无法达到这种程度。诚然，1966 年，在**双子座 9 号**航天器里，一些特别有抵抗力的微生物受到外层空间的辐射，它们在未过滤的强烈阳光下存活了 6 个小时。但是我们所说的不是暴晒几个小时，而是成年累月地暴晒。

此外，如果我们假设，地球上之所以有生命，是因为其他地方产生的一些生命在地球上留下了种子，那么我们会问，生命在其他地方又是怎样开始的呢？因此，这个种子的说法不能解决问题，只是把问题转移到别的地方而已。

化学进化过程

虽然直到今天有些科学家仍然对传播种子的可能性很感兴

趣，但是大多数科学家认为，应该弄清楚地球上生命起源的合理机制。

他们又回到自然发生说，不过有一点不同：巴斯德以前的观点认为，自然发生是在现在发生的，进展很快；现在的观点则认为，自然发生是在很久以前，而且经历了一个非常缓慢的过程。

自然发生不可能在现在发生，因为任何物质即使接近最简单形式的生命所需要的复杂性，都会被已经存在的无数种生命的一种作为食物而吸收。因此，自然发生只能发生在还没有生命存在的星球上，而 35 亿年前的地球可能就是这种情况。

另外，生命也不可能在富含氧的大气里产生。氧是一种活泼元素，它可以与构成接近生命的化学物质结合，把它们再分解。但是，正如我在第五章中所谈到的，科学家们认为，原始大气是一种还原大气，不含游离的氧。事实上，一种可能是，地球的原始大气是由含氢的气体如甲烷（CH_4）、氨（NH_3）和水蒸气（H_2O）组成的，也许还有一些氢（H_2）。

这样一个高度氢化的大气，我们可以称之为**大气Ⅰ**。通过光离解，大气Ⅰ会缓慢地变成由二氧化碳和氮组成的大气（见第五章），可称为**大气Ⅱ**。此后，在高层大气里形成一个臭氧层，自发的变化就停止下来。那么，生命会不会在大气Ⅰ或大气Ⅱ中就已经形成了呢？

尤里认为，生命是在大气Ⅰ里开始的。1952 年，S.L. 米勒（当时他是在尤里实验室工作的一位研究生）设计了一种模拟原始大气的装置，他让水、氨、甲烷和氢的混合物在装置里循环，中间通过一个放电器产生的电火花（模拟太阳的紫外线辐射）。一周后，他用纸色谱法分析所得到的溶液，发现除了不含氮原子的简单物质外，还有甘氨酸和丙氨酸（两种最简单的氨基酸），而且好像还有一两种更复杂的氨基酸。

S.L.米勒的实验有几个方面值得注意。首先,这些化合物形成得快而且多,数量令人吃惊,他在实验开始时加入的甲烷有1/6合成为更复杂的有机物,而实验仅仅持续了一周。

而且,在S.L.米勒的实验中形成的那类有机分子正是活组织中所具有的。这些简单分子会变得越来越复杂,它们所走的路径似乎直接地朝向生命。在后来更精密的实验中,这个朝向生命的进程一直在继续着,但从未大量形成过似乎朝向陌生的非生命方向的分子。

于是,艾贝尔森仿效S.L.米勒的工作,以各种气体的不同组合为起始物质,进行了多种类似的实验。结果发现,只要用含有碳、氢、氧和氮原子的分子开始,就能形成蛋白质中通常具有的那些氨基酸。电火花也不是实验的惟一能源。1959年,两位德国化学家格罗特和威森霍夫,设计了一种可以利用紫外线的实验,他们也得到了氨基酸。

假如有人怀疑朝向生命是一条阻力最小的路径的话,请看这样一个事实:20世纪60年代后期,在外层空间的气体云里(见第二章)发现的分子越来越复杂,这些分子代表着朝向生命的最初阶段。如果是这种情况,那么,可能在由气体尘埃云形成地球的时候,形成复杂分子的最初阶段就已经开始了。

所以,在地球刚形成的时候,可能就已经有许多氨基酸。1970年,人们找到了支持这个学说的证据。斯里兰卡出生的生物化学家庞南佩鲁马研究了1969年9月28日落在澳大利亚的一块陨石。经仔细分析证明,陨石里含有微量的5种氨基酸:甘氨酸、丙氨酸、谷氨酸、缬氨酸和脯氨酸。这些氨基酸没有旋光性,所以它们不是由生命过程形成的(因而它们的存在不是地球上污染的结果),而是由S.L.米勒烧瓶里发生的那种非生命的化学过程形成的。

实际上,霍伊尔和一位印度同事威克拉马辛吉对这个发现留下了极为深刻的印象。他们觉得这种合成远远超出了已经被发现的东西。他们认为,在空间能够形成少量极微小的生命,虽然在天文距离上探测不出来,却肯定具有重大意义。

不仅在遥远的气体尘埃云里,而且在我们太阳系的彗星里,都可能形成这些小生命。因此,地球上的生命可能是由彗尾带给地球的孢子开始的。(说实在的,几乎没有人把这个推测当回事。)

化学家们能不能在实验室里超越氨基酸阶段呢?这样做的一个方法是,开始时使用较多种的原料,并让它们接受较长时间的能源处理。这样就会产生越来越多的更复杂的产物。但是,这些产物的混合物也会变得越来越复杂,因而更加难以分析。

化学家们可以利用的另一个方法是从后来的某个阶段开始,可以把早期一些实验中形成的产物当作新的原料使用。S.L. 米勒的一个产品是氰化氢。1961 年,西班牙血统的美国生物化学家奥罗把氰化氢加入起始混合物中,他得到了比较丰富的氨基酸混合物,甚至还有一些短肽;他还合成出嘌呤,特别是腺嘌呤,它是核酸的一个重要成分。1962 年,奥罗利用甲醛作为原料之一,制造出了核糖和脱氧核糖,也是核酸的成分。

1963 年,庞南佩鲁马也做了类似 S.L. 米勒的实验,用电子束作为能源,结果也有腺嘌呤形成。他和马里纳及萨根一起,进而把腺嘌呤加入核糖溶液,在紫外线照射下形成了**腺苷**(一种把腺嘌呤和核糖连接在一起的分子)。如果此时还有磷酸存在,磷酸也会被连接起来,从而形成腺嘌呤核苷酸。假如加入 3 个磷酸基,就会形成腺苷三磷酸(ATP)。在第十二章中已经讲过,核苷三磷酸是活组织的能量处理机制所必不可少的。1965 年,他合成了**二核苷酸**(2 个核苷酸连接在一起)。如果在这个方面的各种实验所使用的混合物里加入氨基氰($CNNH_2$)和乙烷(CH_3CH_3)一类的物质(这

类物质在原始时期很可能存在),就会形成其他产物。因此,毫无疑问,在原始的海洋和大气里,正常的化学和物理变化可能就是这样发生的,从而形成了蛋白质和核酸。

在没有生命的海洋里形成的任何化合物都会保留和积聚起来,因为没有生物(不论大小)去消耗它们或使它们腐烂。此外,原始的大气中没有氧化和分解分子的游离氧,惟一可以分解复杂分子的重要因素正是形成它们的紫外线和辐射能。不过,海流可能把大量的这类物质带到了海洋中层的安全地带,既远离了紫外线照射的海面,又远离了具有放射性的海底。实际上,庞南佩鲁马和他的同事们已经估计出,足有1%的原始海洋是由这些积聚的有机物构成的。如果真是这样,这种物质会超过1 000万亿吨。这么大的数量足够各种自然力对付的了;在如此大量的物质中,即使最复杂的物质也一定能在不太长的时期内形成(如果考虑到有10亿年的时间可供利用,就更不成问题了)。

因此,完全可以合乎逻辑地推测,随着时间的推移,从原始海洋和大气的简单化合物里出现了浓度越来越高的比较复杂的氨基酸和简单的糖类;氨基酸结合形成肽;嘌呤、嘧啶、糖和磷酸结合形成核苷酸;又经过若干年代,逐渐形成了蛋白质和核酸。最后一定会发展到关键的一步——通过偶然的组合,形成能够诱导复制的核酸分子。这个时刻标志着生命的开始。

因此,在生命自身的进化以前有一个**化学进化**的时期。

似乎一个单个的生命分子就足以使生命开始发展并产生出整个世界的各种不同的生物,正如一个单个的受精卵能够产生一个非常复杂的生物一样。在当时构成海洋的有机“汤”里,第一个生命分子可能成亿成亿地迅速复制和自身一样的分子。偶然的突变会产生形式稍有改变的分子,而那些在某方面比其他分子效率更高的分子会牺牲它的邻居而繁殖起来,从而取代那些旧分子。如

果一组分子在温水中效率比较高,而另一组在冷水中效率比较高,这样就会产生两个种,每个种都局限在最适合自己生存的环境中。这样**有机进化**的过程就运转起来了。

即使一开始有多个独立存在的生命分子出现,也很可能效率最高的一个比其他的都繁殖得快,所以今天所有的生命很可能是由一个单个的原始分子传下来的。尽管现在存在着各种各样的生物,但它们都具有相同的蓝图。它们的细胞都以大致相同的方式进行代谢。此外,所有生物的蛋白质都是由 L-型而不是 D-型氨基酸构成的,这一点似乎特别值得注意。也许发展成各种生命的原始核蛋白碰巧是由 L-型氨基酸构成的;由于 D-型氨基酸不能与 L-型氨基酸结合成任何稳定的链,所以开始时碰巧由 L-型氨基酸构成的蛋白质便一直自我复制而变得极其普遍了。(这并不意味着自然界里完全不存在 D-型氨基酸。在某些细菌的细胞壁里和某些抗菌素化合物里有 D-型氨基酸。不过,这些都是罕见的例子。)

最初的细胞

当然,从生命分子到我们今天所知道的生命仍然有很大的距离。除了病毒以外,所有的生命都是由细胞构成的,而一个细胞(不论以人为标准看上去多么小)在化学结构和相互关系方面是极其复杂的。细胞是怎样开始的呢?

美国生物化学家 S.W. 福克斯的研究阐明了细胞起源的问题。他认为,地球在很久以前一定非常热,因此单靠热能就足以使简单的化合物形成复杂的化合物。1958 年,为了验证这个假说,福克斯把氨基酸的混合物加热,发现它们形成了类似蛋白质分子的长链。这些类蛋白可以被消化普通蛋白质的酶所消化,并可以作为细菌的食物。

最令人惊奇的是,当福克斯把类蛋白溶于热水中并让溶液冷

却时，他发现类蛋白会凝集成小**中心球**，大小像小的细菌。以通常的标准来看，这些中心球不是活的，但它们的表现却和细胞一样，至少在某些方面是如此(例如，它们都有一层被膜)。往溶液里加入某些化学药品，福克斯可以使中心球膨胀或收缩，非常像普通的细胞。它们能够产生芽，有时芽似乎长大一点，然后脱落下来。中心球能够分裂，一个分裂成两个，也能够凝集成链。

可能在原始时期，地球上形成了许多种这样微小而不完全有生命的物质聚合体。有些聚合体特别富含 DNA 并且非常善于自我复制，但只能一般地储存能量；另一些聚合体储存能量比较多，却不善于自我复制。最后，这些聚合体可能结合在一起，互相合作，互相弥补缺陷，从而形成了近代的细胞。细胞比组成它的任何单独部分效率都高。近代的细胞至今仍然含有细胞核(富含 DNA，但自身不能利用氧)和许多线粒体(能非常有效地利用氧，但没有细胞核不能进行自我复制)。(事实上，线粒体仍然具有少量的 DNA，这表明线粒体可能曾经是独立的实体。)

诚然，近些年来，人们越来越怀疑大气Ⅰ没有持续多久，而大气Ⅱ几乎在开始时就有了。例如，金星和火星都有大气Ⅱ(含二氧化碳和氮)，当地球像金星和火星那样没有生命的时候，可能也是有大气Ⅱ。

这并不是一个重大的改变。二氧化碳、水蒸气和氮仍然能够形成简单的化合物。大概在雷电的影响下，氮和二氧化碳或水(或二者)结合，可以转化成氧化氮、氰化物或氨；然后，在阳光和其他能源的作用下，分子的变化继续朝着生命的方向发展。

动物细胞

在大气Ⅰ和大气Ⅱ存在的整个阶段，原始的生命形态只有靠把复杂的化学物质分解成比较简单的化学物质，并把这个过程中

释放的能量储存起来，才能维持生存。比较简单的物质在太阳紫外线辐射的作用下重新形成复杂的物质。一旦大气Ⅱ完全形成并有了臭氧层，这些原始的生命形态挨饿的危险就会到来，因为紫外线的供应切断了。

可是，到那时已经形成了一些类似线粒体的聚合体，它们含有叶绿素(即近代叶绿体的祖先)。1966 年，加拿大生物化学家霍德森和 B.L. 贝克用吡咯和甲醛(二者都可以用更简单的物质以米勒式的实验合成)作为起始物质，只经过 3 个小时的温和加热，就形成了叶绿素的基本结构卟啉环。

在臭氧层形成的时候，含有最初原始叶绿素的聚合体尽管不能有效地利用可见光，但一定比逐渐饿死的无叶绿素聚合体好得多。可见光能够轻易地穿过臭氧层，而且可见光比较低的能量(与紫外线相比)足以激活叶绿素系统。

最初利用叶绿素的生物体可能还不如今天的单个叶绿体复杂。实际上，现在有 2 000 多种叫做**蓝绿藻**的单细胞光合作用的生物体(它们并不全是蓝绿色，但最初研究的一些是这种颜色)。它们都是非常简单的原核生物，结构和细菌非常相似，只是它们含有叶绿素而细菌没有。蓝绿藻可能是原始叶绿体的最简单的后代，而细菌可能是失去叶绿素的叶绿体的后代，它们靠寄生或从死组织及其成分中获取养分。

当叶绿体在原始海洋中繁殖的时候，二氧化碳逐渐减少而为分子氧所取代，于是形成了现在的**大气Ⅲ**。植物细胞的效率不断提高，每个细胞都含有许多叶绿体。同时，没有叶绿素的精细细胞已不能靠以前的基础生存，因为除了在植物细胞里，海洋里不再形成新的食物。然而，这些细胞虽然没有叶绿素，却具有精细的线粒体装备，可以高效率地分解复杂分子并把分解时的能量储存起来，因此，它们可以靠摄取植物细胞和剥夺植物细胞辛苦合成的分子

来生存。动物细胞就这样产生了。最后,生物体变得非常复杂,开始留下我们今天所看到的动植物的化石记录。

同时,从创造新生命的观点来看,地球环境发生了重大改变。生命再不能由纯化学进化来产生和发展了。首先,最早使生命出现的能量的形式(紫外线和辐射能)基本上消失或至少严重地减小了;其次,已经确立的生命形态会将自生的任何有机分子很快地消耗掉。由于这两个原因,实际上已经不存在任何由非生命变为生命的新的独立的突破(除非人类在将来学会某种方法去干预)。我们可以认为,自然发生在今天是根本不可能的。

其他星球上的生命

如果我们接受这个观点,即生命只是由物理和化学定律的作用产生的,那么,我们就会得出这样的结论,生命很可能不局限于地球。在宇宙的其他地方生命存在的可能性又如何呢?

当最初人们认为太阳系的各个行星都是一个世界时,理所当然地认为它们的上面都住有生命,甚至有智慧生命。后来发现月球上没有空气和水,因此很可能也没有生命,对此人们感到有些震惊。

在具有火箭和探测器(见第三章)的现代,科学家们确信,不仅月球上没有生命,而且除地球以外,内太阳系的其他行星上也都没有生命。

外太阳系也没有多少生命存在的可能性。诚然,木星有一层深厚而复杂的大气,可见云层的温度很低,但云层内部的温度很高。某些地方深度和温度都适当,并且已经知道有水和有机化合

物,人们会设想(如同萨根所提出的)那里可能有生命存在。如果木星上有生命的话,三颗其他气体巨行星上可能也有生命。

此外,木卫二星上覆盖着一层冰;但是,由于木星潮汐效应会使冰融化,所以冰下面可能是一个水的海洋。土卫六有一层由甲烷和氮组成的大气,而且表面上可能有液态氮和固态有机化合物,海卫一可能也是这种情况。可以设想,在这三颗卫星上可能存在着某种形式的生命。

不过,这些都是推测而已。我们虽然可以满怀希望,但老实说,不会得到什么结果。目前我们只能合理地假设,就太阳系来说,似乎只有地球是一个生命的住所。但是,太阳系并不是宇宙的全部。在宇宙的其他地方会不会有生命存在呢?

在已知的宇宙里,恒星总数估计至少有 1×10^{21}(十万亿亿)颗。在我们自己的银河系里,恒星数超过 2×10^{11}(二千亿)颗。如果所有这些恒星的发展过程都和我们所说的太阳系的形成过程一样的话(即由大块的气体尘埃云凝集而成),那么,可能没有一颗恒星是孤单的,而每一颗恒星都是含有不止一个星球的本星群的一员。我们知道,有许多绕着一个共同中心旋转的双星。据估计,至少有一半的恒星都属于含有两个或两个以上恒星的系统。

不过,我们真正需要的是一个多重星系,其中许多成员小得不能自己发光,而且它们是行星而不是恒星。虽然到目前为止我们还无法直接探测我们太阳系以外的任何行星(即使是最近恒星的行星),但是我们可以收集间接的证据。在荷兰血统的美国天文学家范德坎普的指导下,斯沃思莫尔学院的斯普罗尔天文台进行了这项工作。

1943 年,天文学家们发现,双重星系天鹅座 61 中,有一颗恒星运行有点不规则,他们推测一定还有第三颗小得不能自己发光的星存在。这第三个成员(天鹅座 61C)的质量应该大约是木星的

8 倍,因此直径大约为木星的 2 倍(假定它们的密度相同)。1960 年,又探测到一颗同样大小的行星在围绕着小恒星拉朗德 21185 运转(至少发现,用它的存在解释这颗恒星运行的不规则性最符合逻辑)。1963 年,对巴纳德恒星的仔细研究表明,那里也存在着一颗行星,质量只有木星的 1~1.5 倍。

在距离我们最近的恒星中,巴纳德恒星排第二位,拉朗德 21185 排第三位,天鹅座 61 排第十二位。一般来说,除非行星系非常普遍,否则在这样靠近我们的地方存在着 3 个行星系是极其不可能的。当然,恒星的距离遥远,只能探测到最大的行星,甚至连最大的行星也很难探测到。因此,哪里有超木星的行星存在,哪里也会存在着比较小的行星,这种假设是完全合理的(甚至是必然的)。

可惜,使人们假设这些太阳系外行星存在的观察很不清楚,而且接近了能够观察的极限。天文学家一般都非常怀疑,这些行星的存在已经真正得到了证明。

但是,一种新的证据接着出现了。1983 年,**红外线天文卫星**(IRAS)绕地球轨道运行,它是为探测和研究天空中的红外线源而设计的。8 月,天文学家奥曼和吉勒特把探测系统对准了织女星,他们惊讶地发现,织女星红外线的亮度比理论值大得多。进一步的研究表明,红外辐射不是来自织女星本身,而是由靠近它的周围发出的。

显然,织女星由一物质云层包围着,云层向外延伸的距离是冥王星轨道到太阳的距离的 2 倍。据推测,云层是由比尘粒大的粒子组成的(或者它在很久以前就被织女星聚集起来了)。织女星比我们的太阳年轻得多,因为它还不到 10 亿年;同时,织女星的光度是太阳的 60 倍,所以星风比太阳强烈得多,星风可以起到不让粒子聚集的作用。鉴于这两个原因,人们可以期望织女星有一个正

在形成过程中的行星系。在碎石组成的巨大云层中可能已经包括一些行星般大小的物体,它们正在逐渐地清扫它们的轨道。

这一发现有力地支持了在宇宙中行星系大概就像恒星一样普遍的假设。

但是,即使假设所有(或大部分)的恒星都有行星系,而且其中许多行星如同地球般大小,我们还必须知道这些行星是否符合居住的标准。美国空间科学家多尔在他的**《适合人类居住的行星》**(1964)一书中,对这个问题作了特别的研究并得出某些结论,尽管是推测,但很有道理。

他指出,首先,要拥有适合居住的行星,恒星的大小必须适当。恒星越大,其寿命就越短;如果恒星过大,它的寿命就不足以让行星完成形成复杂生命形态以前的漫长的化学进化过程。恒星过小则不能给行星以足够的温暖,除非行星非常靠近恒星,但这样又会受到潮汐效应的破坏。多尔的结论是,只有光谱型在 F2 到 K1 之间的恒星才适合于给行星提供营养物,使人类在行星上舒适地生活,这样的行星我们不需要太费力就可以定居下来(假如星际旅行能实现的话)。多尔估计,在我们的银河系里有 170 亿颗这样的恒星。

这样的恒星可能拥有一颗适合居住的行星,也可能没有。多尔估计了一个大小适当的恒星拥有一个质量适当、距离适当、公转周期和轨道适当的行星的概率。在进行了他认为是合理的估计以后,他断言,仅在我们的银河系里可能就有 6 亿颗适合居住的行星,而且其中每一颗都已经有了某种形式的生命。

如果这些适合居住的行星在整个银河系里分布得比较均匀的话,多尔估计,每 8 万立方光年里就会有一颗适合居住的行星。因此,离我们最近的一颗适合居住的行星可能有 27 光年远;而在距离我们 100 光年的范围内,可能共有 50 颗适合居住的行星。

在距离我们22光年的范围内，多尔列出了可能拥有适合居住的行星的14颗恒星，并估计了每颗恒星具有这种现实性的概率。他的结论是，在最靠近我们的恒星中最可能找到适合居住的行星，它们是半人马座α系里的两颗类似太阳的恒星：半人马座αA星和半人马座αB星。多尔估计，这两颗结伴的恒星加在一起，拥有适合居住的行星的概率为1/10。所有14颗邻近恒星的总概率约为2/5。

如果生命是我们前面一节里所讲述的化学反应的结果，那么，在任何类似地球的行星上都必然会发展出生命。当然，一个行星可能拥有生命，但不一定拥有智慧生命。对于一个行星上是否可能发展出智慧生命，我们还无法作出一个即使可以使人理解的猜测。例如，多尔就非常小心，没有作这样的猜测。毕竟，我们的地球，我们能够研究的惟一适合居住的行星，曾经有30多亿年只存在没有智慧的生命。

海豚和它的一些近亲可能是有智慧的，但是，作为海生动物，它们没有肢体，因而不可能发展到使用火；因此，即使它们有智慧，也不可能用来发展技术。如果只考虑陆地上的生命，那么，地球拥有智慧超过猿猴的动物，也只有100万年左右。

不仅如此，这还意味着，地球上拥有智慧生命的时间，是地球拥有任何生命的时间的1/3 500(粗略的估计)。如果我们可以说，所有有生命的行星中，有1/3 500的行星上拥有智慧生命，那么，多尔所估计的6.4亿颗适合居住的行星中，可能有18万颗拥有智慧生命。这样我们在宇宙里就远不是孤单的了。

多尔和萨根(还有我)都支持这种宇宙中有许多有智慧的生命形态的观点，但是天文学家们并不一致赞成。因为他们已经仔细研究过金星和火星，发现生命无法在那里生存，所以出现了一种悲观的观点，认为我们可以期望形成生命并维持几十亿年之久的范围是非常狭窄的，而地球非常幸运地在这个范围之内。只要地球

在这个方面有轻微的改变，或者它的一些特性中的任何特性发生轻微的改变，就不会形成生命，或者即使形成了生命，也不会长期存在。根据这种观点，每个银河系里可能只有一两个有生命的行星，而整个宇宙中可能只有一两个行星上有技术文明。

克里克所持的观点是，每个银河系里都有相当数量的行星，既适合于居住又没有产生生命所需要的非常狭窄的特性范围。这样，生命可能在一个特定的行星上产生，一旦文明发展到能够进行星际航行，就会扩展到别的地方。显然，目前地球还没有发展到星际航行的地步，因此，很可能在几十亿年前，一些远方的旅行者在访问地球时无意中(或有意地)给地球带来了生命。

这两种观点是目前主要的观点：一种是乐观的，认为宇宙里充满了生命；另一种是悲观的，认为宇宙里几乎没有生命。两种观点都是由某些假设推测出来的，都没有观察到的证据。

我们能够得到这样的证据吗？有什么方法能够在如此遥远的距离上判断出一颗远恒星附近的某个地方存在着生命吗？我们可以这样推断，任何形式的生命，如果聪明到能发展出和我们相当或比我们更高的高科技文明，必定已经发展出射电天文学，因而一定能够发射出射电信号，或者像我们在日常生活中经常使用无线电一样，无意中发射出射电信号。

美国的科学家们认真考虑了这种可能性，他们在 F.D. 德雷克的领导下成立了一个叫做**奥兹玛**[①]**计划**的机构，专门收听可能来自其他世界的射电信号。这个设想是为了寻找来自空间的无线电波的某种图式。如果他们探测到的信号具有复杂规则的图式，而不是由射电星、空间被激发的物质或简单周期性的脉冲星发出

① 美国作家鲍姆(1856—1919)以虚构的奥兹国为背景，创作了一系列儿童读物，很受欢迎。奥兹玛是奥兹国公主的名字。——译注

的随机的、无规则的信号，那么就可以假定这种信号是地外某种智慧生命发来的信息。当然，即使收到这种信息，要与遥远的智慧生命进行联系仍然是个问题。发来的信息在路上已经走了许多年，而回答也要经过许多年才能传给远处的发信号者，因为距离我们最近的一颗可能适合居住的行星也有4 $\frac{1}{3}$光年远。

在奥兹玛计划期间，在不同时间收听过的天区包括以下方位：波江座 ε、鲸鱼座 τ、波江座 o-2、印第安座 ε、半人马座 α、蛇夫座 70 和天鹅座 61。但是，接收了两个月，没有任何结果，这个计划就中止了。

其他类似的计划时间更短，而且不如这个精密。不过，科学家们还在梦想着某种比较好的方法。

1971 年，美国国家航空和宇宙航行局奥利弗领导下的一个小组提出了**独眼巨人计划**。这是一个射电望远镜的大阵列，每个射电望远镜的直径为 100 米；全部按行列排列；全部由计算机化的电子系统统一操纵。整个阵列一起工作，相当于一个直径为 10 公里的单个射电望远镜。这种阵列可以探测到在 100 光年的距离上无意中发出的类似地球上的无线电波，而且可以探测到在 1 000 光年距离上的智慧生命有意发来的无线电信号。

建立这样一个阵列可能要用 20 年的时间，并耗费 1 000 亿美元。（你可能会认为耗资太大，但请想一想，世界上每年在战争和准备战争上就要耗费 5 000 亿美元，相当于这个数字的 5 倍。）

但是，人们会问，为什么要进行这种尝试呢？看起来我们成功的可能性很小，即使成功了，又能怎样呢？我们真的能够理解星际信息吗？然而科学家们有几个原因要进行这种尝试。

第一，这个尝试会提高射电望远镜的技术水平，从而促进人类对宇宙的了解。第二，如果我们在空间寻找信息但一个也没有找到，我们仍然可能找到许多有趣的东西。但是，如果我们真的探测

到一个信息而我们又不了解它,那又该怎么办呢?它对我们有什么好处呢?

还有一种反对其他行星上拥有智慧生命的说法。他们说,如果存在着这种智慧生命,而且他们的智慧超过了我们,那么,为什么他们没有发现我们?地球上的生命已经存在了几十亿年,没有受到外来影响的干扰(就我们所知),这起码足以证明没有外来影响。

其他的说法与此相反。他们认为,可能那个存在的文明距离我们太遥远,没有办法到我们这里来。目前任何文明都没有发展出星际旅行,我们相隔遥远,只能以长距离通信相互联系。他们也可能已经来过地球,了解到地球上正在形成生命,而且最终会出现文明,所以有意地不再打扰我们。

这两种说法都没有充分的证据。另外,还有一种比较有力但非常吓人的说法。这种说法认为,智慧生命可能具有自我限制的特性。每种生命一旦发展出足够的高科技,它就会毁灭自己,正如我们目前的情况那样,核武器的储存越来越多,人口猛增,环境的破坏日益严重,似乎正在一步步自我毁灭。假如是那样,那就不是没有文明的问题,而是什么也没有了。可能有许多文明还没有达到发射和接收信息的程度;有许多文明自我毁灭了;只有一两个文明刚刚达到发射信息的程度,正要毁灭自己,但还没有这样做。

如果是那样,只要我们接收到一个信息,它就会向我们表明一个事实:在宇宙的某个地方一个文明不管怎样已经达到了高科技水平(很可能超过了我们),并且还没有自我毁灭。

如果那个文明已经设法生存下来,我们不是也可以设法生存下去吗?

人类在其历史的这个阶段迫切需要这种鼓励,而我作为人类的一员,对此也是翘首以待。

(陈亚娜 译)

第十四章 微生物

细 菌

在17世纪以前，人类所知的最小生物是微小的昆虫。当然，人们理所当然地认为更小的生物是不存在的。所有的文化都以不同的方式相信，有一种超自然的力量可以使生物隐而不见，但是没有人想到自然界中会有小得看不见的生物。

放大的装置

假如有人怀疑过这种小生物存在的话，放大装置的应用就会早得多。甚至古希腊人及罗马人就已经知道，某种形状的玻璃制品可以聚集阳光于一点上，并且透过玻璃有放大物体的效果。例如，一个装有水的玻璃管就可以使物体变大。托勒玫也曾讨论过凸透镜的光学；在大约1000年，阿拉伯作家海桑等人又将此项观察发扬光大。

早在13世纪，一位英国主教兼哲学家，同时也是一位热心的业余科学家格罗斯泰斯特，最先提出放大装置的应用。他指出，**透镜**有助于放大一些太小而不易看见的东西。他的学生R.培根遵循这项提议，发明了用来改善视觉缺陷的眼镜。

最初是制造凸透镜来校正远视，大约到1400年时，凹透镜才

被用来校正近视。印刷术的发明,使得对眼镜的需求日渐增加,并且在 16 世纪前,眼镜制造业成为一项技术性的职业,尤其在荷兰,这已成为一种特殊的专业研究项目。

(远近两用眼镜可用来看远及看近,是 B. 富兰克林在 1760 年发明的。在 1827 年,英国的天文学家爱里设计出第一副可校正散光的透镜,因为他自己就深受散光之苦。1887 年,德国的一位医生费克提出了隐形眼镜的构想,可能有一天会淘汰掉一般的老式眼镜。)

让我们再来讲荷兰的眼镜制造家。早在 1608 年,据说有一位眼镜制造者的徒弟,名叫利珀希,他在休息的时候,取出两片透镜一前一后地来观看物品。这位徒弟惊讶地发现,当他把它们置于一定的距离时,观察到的远处景物,就像是近在眼前一样。这位徒弟立即将他的发现告诉了主人,于是利珀希就开始着手制造第一架**望远镜**,他是在一根管子内将两片透镜置于适当的位置。莫里斯王子是一名在反抗西班牙战争中的荷兰军队司令官,他知道这种仪器具有重要的军事价值,于是便将它视为机密。

但是利珀希并没有考虑到伽利略,当伽利略听到望远镜发明的消息,并且知道它仅是由透镜制成的时候,便很快地发现了它的原理,并开始制造他自己的望远镜,在利珀希发明望远镜后 6 个月内完成。

伽利略将他的望远镜里的透镜重新组合了一下,结果发现可以放大一些排列紧密的物体,实际上,它就是一台**显微镜**。在以后的几十年里,许多科学家都自行制造显微镜。意大利博物学家斯特鲁蒂就利用显微镜来研究昆虫解剖;马尔皮基也借此发现了毛细血管;而胡克则利用它发现了软木的细胞。

直到荷兰代尔夫特城的商人列文虎克着手研究显微镜时,人们才真正了解到显微镜的重要性。他的显微镜可以将物体放大

200倍。

列文虎克不加区别地观看了许多东西，并将所看到的情况详细地描述下来，以书信的方式寄到英国皇家学会。后来，这位商人便成为皇家学会的会员，这是科学民主的一个胜利。在他死之前，英国女王及俄国沙皇彼得大帝都曾来拜访过这位出身卑微的代尔夫特显微镜制造家。

通过他的显微镜，列文虎克发现了精子细胞，并确实地观察到血液在蝌蚪尾部毛细血管里流动的情形。更重要的是，他是第一位看到因太小而无法用肉眼观察到的生物的人。在1675年，他从腐水中发现了**微小动物**。另外，他还分辨出了微小的酵母菌细胞，并终于在1676年找到了**病原菌**，即现在所说的**细菌**。

显微镜的改进非常缓慢，经过了约一个半世纪，细菌般大小的物体才能够较容易地加以研究。1830年，英国的眼镜商利斯忒设计了一种**消色差显微镜**，它能排除影响影像清晰的色环。利斯忒利用消色差显微镜发现红血球是双凹盘状的——就好像一个小圆饼，中央凹陷，但不是一个洞。（红血球是荷兰医生斯旺默丹在1658年首先发现的，他看到的是一些没有特征的小球。）这种消色差显微镜是一巨大进步。到了1878年，德国物理学家阿贝又开始进行一系列的改进，才发明了现代的光学显微镜。

细菌的命名

显微镜下的生物新世界的成员逐渐有了它们的名字。列文虎克所看见的微小动物，的确是一群动物，它们以微小颗粒为食，并靠鞭毛、毛发状的纤毛或原生质（**伪足**）来移动身体。这些动物被命名为**原生动物**（希腊文为“最早的动物”），而德国的动物学家西博尔德鉴定其为单细胞生物。

病原菌比一般的原生动物还小，还简单。虽然有些病原菌可

以运动，但大部分都处于静止状态，而只进行生长及分裂生殖。它们除了缺少叶绿素外，没有任何与动物相关的特性，因此它们经常被分类在**真菌**中，真菌属于缺乏叶绿素并靠有机物质维持生命的植物。今天大部分生物学家认为病原菌既不属于植物界，也不属于动物界，应当自成一个纲。**病原菌**的英文名称（germ）很容易被误解，因为同一个单词也被用于种子的生长部分（如小麦幼芽）、性细胞（如生殖细胞）、胚胎器官（如胚层）或任何具有生命潜力的小物质。

1773年，丹麦的一位显微镜学家弥勒对这些小生物观察得非常清楚，因而将其分为两种类型：**杆菌**及**螺旋菌**。奥地利的外科医生比尔罗特，利用消色差显微镜观察到了更小的一种类型，称之为**球菌**（源自希腊文“草莓”）。德国植物学家F.J.科恩最后给它们定了一个名字叫**细菌**（拉丁文“小木棍”的意思）（见图14-1）。

巴斯德以**微小生物**一词泛指所有显微镜下的生物——动物、

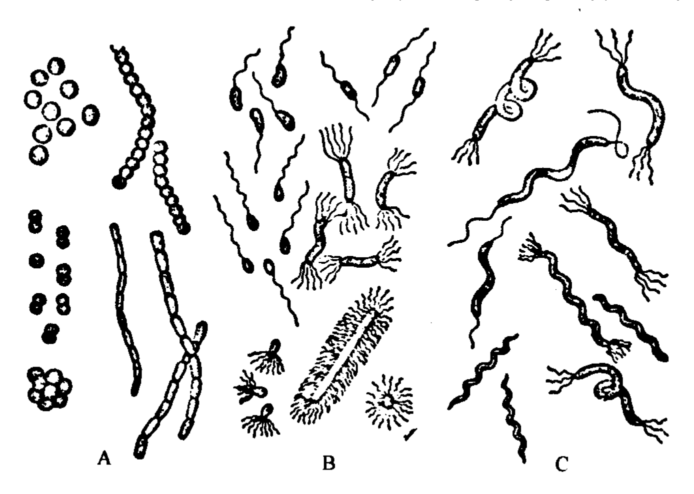


图14-1　细菌的种类：球菌（A）、杆菌（B）及螺旋菌（C）。每一类型都有许多变种

植物及细菌。但是这个词很快被用来专指细菌而变得众所周知。今天一般对于显微镜下的微小生物通称为**微生物**。

较大的生物，如多细胞动、植物（包括我们本身）的细胞，均属真核生物。而原生动物（单细胞生物）则具有细胞核、线粒体及其他细胞器。实际上，许多原生动物的细胞比我们身体的细胞还要大而且复杂。比如，原生动物细胞必须具备一切与生命不可分离的功能，而多细胞生物的细胞，则可以分化、互相依赖或互相供应自身不能生产的产品。

单细胞植物称为**藻类**，它们的细胞与多细胞植物的细胞一样复杂或更为复杂。藻类具有细胞核及叶绿体等细胞器。

然而，细菌则属原核生物，无细胞核或其他细胞器。真核生物的遗传物质通常局限在细胞核内，而细菌的遗传物质则遍布于整个细胞内。细菌还有一个特点，即它们的细胞壁主要是由碳水化合物及蛋白质组成。细菌的直径大约为 1～10 微米，比真核生物的细胞小得多。

原核生物的另一群落是蓝绿藻，它们与细菌的区别主要是具有叶绿素，并能进行光合作用，有时被称做蓝绿植物，与真核的单细胞植物——藻类区分开来。

我们不应被细菌表面上的单纯性所迷惑。虽然它们不具细胞核，并且在模仿有性生殖中似乎不转移染色体，但是它们却有一种原始的性别。1964 年，塔特姆及其学生莱德伯格进行了一系列的观察，指出细菌有时候确实能将部分核酸由一个细胞转移到另一个细胞。莱德伯格称此现象为**接合生殖**，结果他与塔特姆因此而获得 1958 年诺贝尔医学与生理学奖。

1952 年，在接合生殖研究中，莱德伯格发现那些似乎会进行交换的核酸分子呈环状而非直线状，他称此核酸环为**质体**。质体是细菌所具有的最像细胞器的东西，它们带有基因，能控制某些酶

的形成，并能在细胞中间转移性状。

病原菌学说

巴斯德是第一位把微生物与疾病结合在一起的人，奠定了现代**细菌学**的基础，这就是通常所说的**微生物学**。由于巴斯德非常关心某些似乎属于工业而非医学的问题，才产生出这门科学。在19世纪60年代，法国丝织工业受到一种蚕病的影响而面临崩溃的局面。曾经解救过法国造酒业的巴斯德，再次被请来解决这个问题，如同以往研究不对称晶体以及酵母菌变种时那样，他再度利用显微镜来观察，结果发现，微生物感染了蚕及蚕所赖以维持生命的桑叶，他建议将所有已感染的蚕及桑叶全部销毁，并且用尚未感染的蚕及桑叶重新开始做起。当这一步骤彻底实施之后，实验终于取得了成功。

除了复兴蚕丝工业，巴斯德还做了许多这类的研究。他综合了各方面的结论，从而发表了《**病原菌学说**》。毫无疑问，这是有史以来最伟大的一项医学发现，而这位发现者却不是位医生，而是一位化学家。

在巴斯德之前，医生只不过建议病人多休息，加强营养，呼吸新鲜空气，并维持环境清洁，有必要时则做一些急诊。这些早在公元前400年就为希腊医生希波克拉底所倡导，希波克拉底提出理性的医学观点，他不赞成阿波罗的箭及所谓被鬼纠缠的说法，而声明即使是癫痫症这种所谓"神的疾病"，也不是因为某些神的影响所造成的，而只是身体上的失调，必须疗养。此话一直未被后世所遗忘。

然而，在以后的2 000年中，医学的进步特别地缓慢，医生能切除肿疱，调整骨折以及开一些民间所知的药方，如来自金鸡纳树皮的奎宁（早期因秘鲁的印第安人嚼其树皮时，发现能治疗疟疾），

以及取自毛地黄植物的毛地黄素(一种古代采药者的药方,可以刺激心脏功能)。除了这些少数的治疗之外(还有天花疫苗,我将在下面谈到),在希波克拉底之后,许多医生开出的药方及医疗,只会使死亡率升高,而不是降低。

1819 年,法国医生雷奈克发明了**听诊器**,这是进入科学时代最初两个半世纪中诸多有趣的发明之一。它的原型就像一个木制的管子,可用来帮助医生听测心跳的声音。从那时起,听诊器不断推陈出新,使听诊器成为医生的特征及随身必备物品,就好像是工程师口袋中的计算器一般。

直到 19 世纪,即使是文明的国家也会定期地遭受传染病的侵袭,有些病甚至在历史上有深远的影响。在雅典,正当伯罗奔尼撒战争时,雅典政治家伯里克利死于传染病,因而导致希腊逐渐走向灭亡。罗马帝国在奥里利厄斯统治时,也因传染病的袭击而开始步向崩溃。14 世纪的黑死病,造成了大约 1/4 的欧洲人口死亡。传染病与火药在中世纪里严重地破坏了古代的社会结构。

的确,当巴斯德发现传染病是因微生物造成及传播时,传染病正方兴未艾。在印度,霍乱一直是地方性的疾病,在其他不发达的国家也常发生严重的传染病。疾病一直是战时的一大危机,新的病菌不断产生,并肆虐全球。1918 年的流行性感冒,估计死亡了1 500万人,这个数字比历史上其他任何一次传染病所造成的死亡数目都要多,几乎接近当时刚结束的世界大战死亡人数的两倍。

因此巴斯德的发现是一个伟大的转折点。自巴斯德对疾病的研究与治疗开始,欧洲及美国的死亡率开始显著地下降,预期寿命则稳定地上升,在世界上先进地区的男女寿命,现在可期望平均超过 70 岁。然而,在巴斯德之前,在良好的状况下平均寿命仅仅只

有 40 岁;在不良的状况下,大概只有 25 岁。自第二次世界大战后,预期寿命在不发达的地区也急速上升。

识别细菌

早在巴斯德 1865 年提出病原菌学说之前,一位维也纳医生塞麦尔维斯已开始对细菌展开有效的反击,只不过当时尚不知所攻击的是何物。他曾在维也纳一家医院的妇产病房工作,在那里有 12% 以上的母亲死于所谓的**产褥热**。塞麦尔维斯注意到一件事:凡在家只靠那些无知的接生婆生产的母亲,就不会得产褥热,而在医院里也有一位医生得了与产褥热非常相似的病症而死亡,这件事更激发了他的怀疑。那位医生是在解剖尸体时割伤自己,而后才发病死亡的。难道是这些医生和学生自解剖室出来后,将此疾病传给了要生产的母亲吗?因此塞麦尔维斯坚持要医生用漂白粉溶液洗手,结果一年内妇产病房的死亡率就从 12% 降到 1.5%。

但是老医生被激怒了,他们对因涉嫌谋杀而感到愤怒,并对洗手感到羞辱,于是将塞麦尔维斯逐出医院(他们的借口是:他是匈牙利人,而当时匈牙利已在反叛奥地利的统治)。塞麦尔维斯回到了布达佩斯(匈牙利首都),不久便使当地产妇的死亡率降低了许多。然而在维也纳,10 年之间,那些医院又变成了死亡的陷阱。不幸的是,塞麦尔维斯自己在 1865 年因一次意外的感染而死于产褥热(当时他只有 47 岁),没有看到关于他对疾病传染的怀疑所做的科学证明:那一年巴斯德在病蚕体内发现了微生物,同时英国外科医生利斯特(消色差显微镜发明者利斯忒之子)提出用化学方法消毒。

利斯特所采用的武器是苯酚(即石炭酸),他最先使用苯酚来为一位有创骨折的病人包扎。在此之前,所有严重的伤害都免不

了受到感染。当然,利斯特的苯酚杀死了伤口周围的组织,但也杀死了细菌,病人非常顺利地康复了。就在这次成功之后,利斯特便用苯酚喷洒手术房。苯酚对人而言,可能闻起来很难受,但它却拯救了很多人的性命。就如塞麦尔维斯的情形一样,仍有人反对,但是巴斯德的实验已经创立了消毒的理论,因此利斯特轻易地获得了胜利。

巴斯德在法国的发展多少有些困难(不像利斯特,他没有医学博士的头衔),但他说服了外科医生要用水煮沸他们的用具,以及用蒸汽来消毒绷带。巴斯德的蒸汽消毒法取代了令人难受的喷苯酚法。接着,温和的消毒方式陆续被发现,这些方法能够排除过度的组织伤害,从而达到灭菌之效。1873 年,法国医生达芬提出碘的消毒特性,从此碘酊即碘与水的混合液,便成为常用的药剂。自然,碘与其类似制品也被使用在各种擦伤上。因此,免于感染的机会无疑就增加了。

事实上,寻找避免感染的方法渐渐地转向防止病菌的侵入(即**无菌处理**),在细菌尚未获得立足之地之前就予以消灭。1890 年,美国外科医生霍尔斯特德提出使用消毒的橡胶手套进行手术;到了 1900 年,英国医生亨特又加了一项纱布口罩,以免病人自医生的呼吸中感染上病菌。

与此同时,德国医生科赫已开始识别不同疾病的特殊细菌。他在培养基的性质方面,作了重要的改进。所谓培养基即一种可供细菌生长的食物。巴斯德使用的是液体培养基,而科赫则使用固体培养基。他将分离出的样本接在胶质物上(后来为琼脂所取代,这是由海藻制成的胶状物)。假如将一种细菌放置在培养基的一个点上(用很细的针),则一个纯种的菌落会围绕着这个点长出。在琼脂的固体表面上,细菌不能够像在液体里那样从原来的亲本那里移动或漂移。科赫的一位助手皮特里提出使用有盖的浅玻璃

碟子，以免培养物遭受空气中飘浮的细菌孢子的污染，这就是**皮氏培养皿**的由来。

用这种方法使单个细菌生长成菌落，然后可以分别加以培养，并可用于动物体内，检验会造成何种疾病。这项技术不仅可以辨认出某种特定的感染，而且可以提供各种不同的处理实验，以期杀死专门的细菌。

科赫利用他的新技术，于1882年分离出一种引起炭疽病及肺结核的杆菌。1884年，他又分离出引起霍乱的细菌。1883年时，德国病理学家克莱布斯根据科赫的方法也分离出了白喉病菌。科赫于1905年荣获诺贝尔医学与生理学奖。

化学疗法

一旦细菌被识别出来之后，下一步便是要寻找一种能够杀死细菌又不会伤害病人的药剂。曾与科赫一起工作的德国医生兼细菌学家P.埃尔利希，便专心从事这一方面的工作，他认为必须要寻找到一种“神奇的子弹”，只打击细菌而不会伤害人体。

P.埃尔利希对给细菌染色的染料很感兴趣，这与细胞研究有着重要的关系。细胞在原始状态下是无色透明的，因此无法看清其内部的细节。早期的显微镜学家曾试图利用染料对细胞染色，但直到珀金发现苯胺染料后(见第十一章)，这个技术才得以应用。虽然P.埃尔利希并不是第一位使用合成染料来染色的人，但是在19世纪70年代后期，他详细地研究出这方面的技术，于是引导出了弗勒明对有丝分裂的研究以及福尔根对染色体中DNA的研究(见第十三章)。

但是P.埃尔利希心中另有计划，他将这些染料专门用作杀菌剂。这种染色剂对细菌的作用比对其他细胞作用强，可以有效地杀死细菌，即使这种染色剂低浓度地注射到血液中，也不会伤害病人的细胞。到了1907年，P.埃尔利希发现了一种叫锥虫红的染料，可以染锥体虫，后者与可怕的非洲昏睡症（由催催蝇传播的一种疾病）有关。如果以适当剂量的锥虫红注入血液中，可以杀死锥体虫而不会伤害患者。

P.埃尔利希并不以此为满足，他想得到一种更有效的微生物杀剂。假定锥虫红分子具毒性的部分是**偶氮**结构，即一对氮原子结构（－N＝N－），他认为一对类似的砷原子结构（－As＝As－）也应具有同样的功效。砷在化学方面类似于氮，但比氮更具有毒性。P.埃尔利希开始不加选择地试验各种砷化物，边试验边给它们编排顺序。1909年，P.埃尔利希的一位日本籍学生秦佐八郎将以往不能杀死锥体虫的六〇六化合物，在梅毒病菌上试验，结果证明它能杀死这种**螺旋体**微生物。

P.埃尔利希立刻认识到，他已偶然碰到了比治疗锥虫病更为重要的东西，锥虫病只是局限在热带地区的一种传染病，而梅毒自哥伦布时代以来，成为欧洲的隐患已有400多年。人们认为，哥伦布的人从加勒比海地区的印第安人身上将此病带回了欧洲，同时，欧洲人也将天花传给了印第安人。当时对于梅毒不仅无法医治，而且患者都装作很规矩的样子，无声无息地隐瞒此种疾病，因此使这种疾病毫无阻挠地散布开来。

P.埃尔利希把他的余生（他死于1915年）全部倾注在以化合物六〇六（即他所谓的安全砒霜——洒尔佛散，化学名称胂凡纳明）抵抗梅毒上。这种药虽然可以治疗梅毒，但是使用起来并不是没有危险性，P.埃尔利希警告各医院必须正确地使用它。

自P.埃尔利希起，化学疗法进入了一个新的阶段。**药理学，**

这个研究除食物以外的化学品(即药品)对生物的作用的科学,终于单独成为20世纪医学的一个分支。胂凡纳明是第一种合成药物,它不同于奎宁等植物药剂或矿物药剂。

磺胺药剂

每一种疾病都能找到独特而适当的解毒剂。但是在P.埃尔利希发现六〇六之后的25年内,新药品的调剂师都不够幸运。德国的化学家在1924年合成了**扑疟喹啉**,并在1930年,合成了**阿的平**,这些合成药可用来代替奎宁治疗疟疾,这可算是惟一的成功。第二次世界大战日本占领爪哇岛时,这些药对于在丛林区作战的西方部队是非常有帮助的。当时爪哇是世界的奎宁供应中心,这些奎宁就像橡胶一样,已从南美洲移到东南亚。

1932年有了新的突破:一位名叫多马克的德国化学家将一种新的红色染剂**百浪多息**注射到感染了致命溶血链球菌的小白鼠体内,这只小白鼠竟然没有死！他又将它使用在即将死于链球菌败血症的女儿身上,结果他女儿也活了过来。在3年内,百浪多息就获得了世界声誉,它可以阻止人身上的链球菌感染。

奇怪的是,百浪多息在试管中不能杀死链球菌,只有在体内才有效。巴黎巴斯德研究所的特雷弗尤尔以及他的同事认为,人体必定会将百浪多息转变成某种其他的物质,这种物质可以对细菌产生作用。他们进一步将百浪多息分解为有效的碎片,名为**磺胺**。对于这种化合物他们于1908年草率地提出一个报告,但很快就被遗忘了。磺胺的结构式如下:

```
        NH2
         |
         C
       // \
     CH    CH
     |     ||
     CH    CH
       \\ /
         C
         |
   O = S = O
         |
        NH2
```

磺胺是"灵丹妙药"中的第一种,一种又一种的细菌被它杀死。化学家们发现,用不同的基来取代含硫基中的氢原子,可以得到一系列的化合物,而每一种都有不同的抗菌性。**磺胺吡啶**于1937年出现,**磺胺噻唑**于1939年出现,1941年则出现了**磺胺嘧啶**。现在医生可以从一整组磺胺药物中,选择适当的药物来对付不同的感染。在医药先进的国家里,细菌性疾病的死亡率,特别是肺炎球菌性肺炎显著地下降了。

多马克在1939年获诺贝尔医学与生理学奖,正当他写接受奖金的例行函件时,却被盖世太保逮捕了。纳粹政府以自己特殊的理由而与诺贝尔奖断绝关系,多马克也只好拒绝受奖,直至第二次世界大战之后,他才终于能自由地接受这份荣誉,到斯德哥尔摩正式领奖。

抗菌素

磺胺药剂只有一段短暂的全盛时期,因为它很快就被抗菌素的发现夺去了光彩,这种抗菌素是一种更具效能的抗菌武器。

所有具有生命的物质,包括人类在内,最后都会被分解、腐败而转变为土壤,而这些尸体以及活生物排出的废物中伴随着很多

传染疾病的细菌。那么,为什么传染性的细菌很少能在土壤中存活呢(炭疽杆菌是这少数中的一种)? 许多年前,细菌学家开始怀疑土壤中可能含有可以破坏细菌的微生物或物质。例如早在1877年,巴斯德已经注意到某些细菌会因其他菌的出现而死亡。假如这种怀疑是正确的,那么土壤中的许多生物也会使其他生物死亡。据估计,每4 074平方米(1英亩)的土壤中含有大约908公斤(2 000磅)的霉菌、454公斤(1 000磅)的细菌、90.8公斤(200磅)的原生动物、45.4公斤的藻类以及45.4公斤的酵母菌。

法国血统的美国微生物学家迪博,是专门从事寻找土壤内杀菌剂的学者之一。1939年,他从一种叫**短杆菌**的土壤微生物中分离出一种物质,叫**短杆菌素**,从这种物质中,他又分离出两种能杀菌的化合物,分别命名为**短杆菌肽**及**短杆菌酪肽**。这些物质被证明是含有D-氨基酸的肽。D-氨基酸是普通L-氨基酸的镜像,大部分天然蛋白质是由L-氨基酸构成的。短杆菌肽和短杆菌酪肽就是这样最早生产的抗菌素。但是早在12年前就发现了一种抗菌素,这种抗菌素后来被证明是十分重要的。不过这只是在一篇科学论文中提到的。

英国的细菌学家弗莱明一天早晨发现,他放在工作台上培养的葡萄球菌(一般会化脓的细菌)被某种物质污染而杀死。在培养皿中,被杀死的葡萄球菌区域内有一些清楚的小圆点。对杀菌有着浓厚兴趣的弗莱明(他曾在眼泪中发现一种具有杀菌力的酶——**溶菌酶**)立刻研究是什么物质杀死了细菌,后来发现是一种平常的面包霉菌——**特异青霉菌**,这种霉菌所制造的一些物质,他称之为**青霉素**,是细菌的致命物。弗莱明在1929年,忠实地宣布了他的成果,但是当时并没有引起医学界特别的注意。

10年之后,英国的生物化学家弗洛里以及他的一位德国同事,对这项快被遗忘的发现产生了兴趣,并从事分离这种抗菌物质

的工作。到 1941 年，他们得到一种临床上对许多**革兰氏阳性**细菌非常有效的提取物。(革兰氏阳性细菌是指能被 1884 年丹麦细菌学家革兰所发明的被一种染色剂染上颜色的细菌。)

因为战时的英国没有能力制造药物，弗洛里就到美国帮助制定一项计划，发展纯化青霉素的方法，并利用霉菌加速其生产，在 1943 年一年中就有 500 个用青霉素治疗的病例。到了战争末期，青霉素正处于大量制造与使用的时期，不仅大量取代了磺胺药剂，而且在整个应用医学上，成为(并仍然是)最重要的药物之一。它对许多种传染病都颇具效力，包括肺炎、淋病、梅毒、产褥热、猩红热以及脑脊膜炎(有效范围叫做**抗菌素谱**)。在实际应用上，除了个别人对青霉素有过敏现象外，它几乎毫无毒性及副作用。

1945 年，弗莱明、弗洛里以及钱恩共同获得了诺贝尔医学与生理学奖。

青霉素的出现使人们对其他抗菌素开始了难以置信的精心探索。1943 年，瓦克斯曼从**链霉菌**属的一种土壤菌中，分离出一种叫**链霉素**的抗菌素。链霉素可以打击**革兰氏阴性**细菌(不易被革兰氏染色剂染上颜色的细菌)，而其最大的成功是能抵抗结核杆菌。但是链霉素与青霉素不同，它具有毒性，必须小心使用。

由于发现链霉素，瓦克斯曼获得了 1952 年的诺贝尔医学与生理学奖。

氯霉素是另一种抗菌素，氯霉素是于 1947 年从链霉菌属的霉菌中分离出来的。氯霉素不仅能攻击革兰氏阳性及阴性细菌，而且能攻击某些较小的生物，特别是那些斑疹伤寒及鹦鹉病(即鹦鹉热)的小生物，但其本身也具有毒性，必须小心使用。

在仔细地检验了数以千计的土壤样本后，发现了一个完整系列的广谱抗菌素——**金霉素**、**土霉素**、**无色霉素**等。其中第一个是金霉素，它是由达格尔及其同事在 1944 年分离出来的，1948 年市

场上开始出售。这些抗菌素都称为**四环素**,因为每一种分子都包含四个并排的环,它们对大多数传染病具有抵抗效果,而使得传染病例下降到令人兴奋的低度。(当然,由于我们不断地征服了传染病,人类患新陈代谢疾病的机会便大大地增加了。在近 80 年中,代谢失调的糖尿病发生率已增加了 10 倍之多)。

抗药性细菌

在化学疗法的发展过程中,主要的阻力是细菌的抗药性菌株迅速增加。例如在 1939 年对所有的脑膜炎及肺炎球菌性肺炎施用磺胺药物后,都有很好的疗效。但 20 年后,却只剩下一半的病例有效了。其他各种抗菌素的效果也随使用时间的延续而愈来愈差。这并不是细菌学会了抵抗,而是"正宗"的菌株被杀死后,其中具有抗药性的突变株又繁衍兴盛起来,在正常情况下,突变是缓慢的,在真核生物中,尤其是多细胞生物,在每一代里,靠着基因与染色体的不断组合,变异的速度有所加快。然而,细菌的突变更迅速,因为细菌繁殖得非常快,只要有少数的亲代就可以产生无数后代。尽管有效的突变非常缓慢,但是突变的绝对数目仍然是很高的。

而且,制造这种酶所必需的基因在质体中经常可以发现,并且能由一个细菌转移到另一个细菌,造成这种抗药特性快速地传播。

在医院里,抗药菌株的危险性是最大的,因为那里抗菌素使用频繁,并且病人对传染病的抵抗力也低于正常人。某些新的葡萄球菌株能顽强地抵挡抗菌素,例如在妇产医院的病房里,**医院型葡萄球菌**曾是严重的忧虑,它甚至在 1961 年被当作头条新闻,刊登影星 E. 泰勒患了这种抗药性细菌所引起的肺炎而几乎丧命的消息。

可以庆幸的是,对一种抗药性菌株无效的抗菌素,却能对抗另

一种抗药性菌株。新的抗菌素以及旧抗菌素的改良合成，足以继续对抗突变种。最理想的是能找出一种抗菌素，而此抗菌素是任何突变种所不能免疫的，于是便无幸存的特殊细菌可以繁衍下去了。有许多此类的抗菌素已被制造出来，例如一种经改良的青霉素，叫做**新青霉素**，在 1960 年被合成出来。它是部分合成的，因为它的分子结构对细菌是陌生的，所以它的分子不会被分裂，而且它的活性也不会被青霉素酶(最先被钱恩发现)所破坏，这种酶是抗药性菌株用来破坏一般青霉素的有利武器。因此，新青霉素乃是抗药性菌株的克星，例如 E. 泰勒的性命就是靠它拯救的。然而，能抵抗合成青霉素的葡萄球菌也逐渐演化出来。看来，药剂与细菌间的斗争将永无休止。增加的杀灭抗药性菌株的药物是各种其他新的抗菌素和经过改进的旧抗菌素。我们只能希望顽强多变的化学在对抗顽强多变的病菌的斗争中继续保持优势。

杀虫剂

人类在扑灭另一大天敌——昆虫时，也遭遇到类似抗药品系的问题。昆虫不仅严重地与人类竞争食物，而且也会传播疾病。近代化学对昆虫的防御始于 1839 年，当时瑞士化学家 P. 米勒研制了**二氯二苯三氯乙烷**，即滴滴涕(DDT)。P. 米勒因这项成就获得 1948 年的诺贝尔医学与生理学奖。

在当时，DDT 广为使用，使得家蝇产生出抗药性的品系，因此新的**杀虫剂**(或者用一个把灭鼠或除草等化学品都包括在内的更概括的名词**农药**)必须继续开发出来。

此外，有许多人对于我们滥用化学药物来与生物作战颇多议论，他们担心科学会使越来越多的人完全靠化学药物来维持生命；深恐一旦技术稍有失误，会使人类为传染病及各种疾病所残害而大批死亡，因为人类一直是用化学的防御工事抵挡的，缺乏天然的

抵抗力。

关于杀虫剂本身，美国科学家兼作家卡森1962年写过一本**《寂静的春天》**，书中戏剧性地描述了人类滥用化学药物会将无害甚至有益的生物一起杀死的可能性。卡森认为，不加考虑地毁灭生物，将会导致各种生物相互依赖的生态系统严重混乱。因此，化学药物的滥用，到最后对人类会弊多利少。这种对生物种类间相互关系的研究，我们称之为**生态学**。无疑，卡森的书激发了对这一生物学分支的重视。

当然，解决的方法并非放弃科学技术发展，也不能放弃所有对昆虫控制的企图(疾病与饥饿的代价太高了)，而是要寻找比较特殊并且对一般生态结构破坏较少的方法。

比如，昆虫有它们的天敌，这些天敌不论是昆虫的寄生虫还是食虫生物，都可加以助长培养；另外，声响和气味也可用来驱逐或诱杀昆虫；而利用辐射可以使昆虫不孕，凡此种种的努力，都值得采用。

美国生物学家C.M.威廉斯提出一种有效的杀虫方法，就是利用昆虫自己的激素。昆虫会定期地蜕皮，并且要经历三个特定的时期：幼虫、蛹及成虫，这些复杂的变化过程均受激素的控制。有一种**青春激素**可以阻止成虫期的发育。若把此种激素分离出来，并加以运用，则昆虫将无法到达成虫期，而不能传宗接代。每一种昆虫都有其特定的青春激素，并且只受本身青春激素的影响。一种青春激素只可以用来攻击一种特定的昆虫，而不会影响到其他种类的昆虫。生物学家分析了此种激素的结构后，认为可以合成更便宜而有效的激素。

简言之，解决科学进步所带来的副作用，是设法小心而明智地运用科学进步，而不是采取放弃的态度。

化学疗法的功效

对化学药物作用方式的最佳猜测似乎是，每一种药物都能以竞争的方式抑制微生物体内某种重要的酶。其中最好的实例是磺胺药剂，它们与**对氨基苯甲酸**非常相似，其结构式为：

```
        NH2
        |
        C
      //  \
    CH     CH
    |      ||
    CH     CH
      \\  /
        C
        |
        C = O
        |
        OH
```

对氨基苯甲酸是合成**叶酸**所必需的，叶酸是细菌以及其他细胞代谢中很重要的一种物质。一种以吸收磺胺分子替代对氨基苯甲酸的细菌，便无法合成叶酸，因为它解除了合成过程中酶的作用，于是，细菌便停止生长与繁殖；另一方面，病人体内的细胞并不受影响，它们从食物中获取叶酸，而不需要自行合成。在人体细胞中没有可被适当浓度的磺胺药剂抑制的酶。

即使人体细胞与细菌具有相同的酶，仍有其他选择性地攻击细菌的方法。细菌的酶对某种特定的药物可能比人体细胞的酶更为敏感，所以一定的剂量可以杀死细菌，而不会对人体细胞造成严重的干扰。甚至可以采用一种适当合成的药物，能穿透细菌的细胞膜，而不能穿透人体的细胞膜。例如，青霉素可以干扰细菌细胞壁的形成，而动物细胞是没有细胞壁的。

抗菌素也是靠对酶的竞争性抑制来发挥其效用的吗？这个答案尚未完全明了。但有充分的理由相信，至少有一些抗菌素是如此。

先前提到的短杆菌肽及短杆菌酪肽，含有自然界中所缺少的D-氨基酸，或许此氨基酸阻碍了利用自然界的L-氨基酸来合成化合物的酶；另一种肽抗菌素——枯草杆菌，含有鸟氨酸，此氨基酸可抑制酶利用精氨酸（类似鸟氨酸）。链霉素的情形也是一样，它的分子含有一种奇特的变种糖，这种糖可以干扰某些与活细胞中正常糖作用的酶。此外，氯霉素类似苯基丙氨酸；部分青霉素分子类似半胱氨酸，在此二者中，竞争性抑制可能更为强烈。

有关抗菌素竞争作用最明显的证据是**嘌呤霉素**，这是由一种**链霉素**合成的物质，此种化合物的结构跟核苷酸（核酸的基本单位）非常相似。霍普金斯大学的亚莫林斯基及其同事指出，嘌呤霉素与转移RNA竞争，阻碍了蛋白质的合成；同时，链霉素干扰转移RNA，可造成基因密码的误读，而形成无用的蛋白质。不幸的是，这种干扰除细菌外，对其他细胞也造成毒性，因为它阻碍其他细胞所必需的蛋白质的正常合成。因此，嘌呤霉素过于危险，不能使用，链霉素与嘌呤霉素的情况也差不多。

有益的细菌

通常人们的注意力都集中在那些致病而有害（就人类观点而言）的细菌。然而，这类细菌只占全部细菌的一小部分。据估计，如果有一个有害的细菌，相对就会有30 000个无害、有用甚至必需的细菌。假如我们按照种来计算，那么在已经识别的1 400种细菌中，只有150种会引起人类或人类所栽培的植物和驯养的动物的疾病。

让我们考虑如下事实：无论何时何地都有数不尽的有机体死亡，其中被一般动物吃掉的只占较少的部分。约10%以下的落叶及1%以下的死树被动物吃掉，剩余的部分都成为真菌或细菌的食物。要不是有这些**分解者**，特别是人们常说的**腐生细菌**，那么动

物无法消化的物质会在生物界里不断堆积,占有生物所需空间的比例日益增加,长此下去,就不会再有生物存在的地方了。

尤其是纤维素,对多细胞动物而言是不易消化的,即使像牛和白蚁这类以富含纤维的草木为食的动物,它们也只能靠生活在其消化道内的无数细菌才能将之分解。正是这些细菌分解纤维素才使之在整个生活周期中起着积极的作用。

另外,所有的植物都需要氮,用来制造氨基酸和蛋白质。动物也需要氮,但必须从植物中获取(先由植物合成氨基酸与蛋白质)。植物从土壤的硝酸盐中获得氮,然而,硝酸盐是一种可溶于水的无机盐类,雨水会将它从土壤中淋溶掉,使土地变得不肥沃。如果真是这样,至少在陵地上就不会有植物存在了,同时也只有靠海中生物维持生命的动物才能生存下去。

事实上,尽管经过几百万年的雨水冲淋,土壤中还是存有一些硝酸盐,那么,这些硝酸盐又是从何而来的呢?空气中的氮是最重要的来源。但是动植物均无法利用气态氮(其化学活性相当差),也无法将其固定为化合物的形式。然而,自然界中存在着一种**固氮细菌**,它们能够将大气中的氮转变为氨。一旦氨形成之后,便很容易被**硝化细菌**转变为硝酸盐。要是没有这些细菌(以及蓝绿藻)的作用,则陵地上的生命将不可能存在。

(当然,借助于现代的科学技术,如第十一章所提的哈伯法,人类也能够固定空气中的氮,但这是陆地生命存在了千百万年以后的事了。如今,工业固氮已达到了能与自然脱氧作用相抗衡的地步。自然脱氧作用仍须靠其他细菌来将硝酸盐再转变成气态氮。倘若在河流及湖泊中有过多硝酸盐聚积,则会助长藻类的生长,导致水中高等生物如鱼类的死亡,最终破坏整个生态系统的平衡。)

不同种类的微生物(包括细菌在内),从史前时代就一直为人类直接利用。不同的酵母菌(一种单细胞真菌,属真核生物)可将

糖和淀粉转变为醇及二氧化碳，因此，自远古以来就被用来将水果及谷物发酵制成酒与啤酒，利用二氧化碳的产生将面粉转变为松软膨大的面包以及面食。

霉及细菌还能促成其他的变化，例如将牛奶转变为酸乳酪或各式各样的乳酪。

现代的**工业微生物学**可以培养出特殊菌株的霉与细菌，从而制造出具有药理价值的物质，如抗菌素、维生素或氨基酸，或其他具有工业价值的生物制品，如丙酮、丁醇或柠檬酸。

利用基因工程技术，可增强细菌及其他微生物已有的能力，如固氮作用，或培养出新的能力，如在适当的条件下，氧化碳氢化合物分子的能力，可用来清除油脂。它们也可以合成人们所需要的物质，如不同的血液成分及激素。

病毒

许多神奇的药物对细菌性疾病十分有效，但对病毒性疾病却很少见效，许多人对此感到迷惑不解。病毒只有在自身繁殖的时候，才能引起疾病。那么为什么不能像阻止细菌一样，阻止病毒的繁殖呢？只要你了解病毒是如何繁殖的，问题就会变得明确而简单了。病毒是一种完全寄生的微生物，只有在活细胞内才能繁殖，病毒本身几乎没有代谢能力，而完全依赖其侵入的细胞提供养料来进行自身繁殖，而且繁殖得非常快。通常只用 25 分钟，1 个存在于细胞内的病毒就可以变成 200 个。要想剥夺病毒所需的养料或阻止这一繁殖机制而不破坏细胞本身，是很困难的。

生物学家在发现一系列简单形态的生命的情况下，才于近期

发现了病毒。此事或许应从发现疟疾的病因讲起。

非细菌性疾病

人类近年遭受疟疾危害的人数，大概要比任何其他传染病都多。世界人口中约有10%患过此病，曾造成每年300万人的死亡。1880年，它被认为是由沼泽地区的瘴气引起的，后来一位法国细菌学家拉韦朗发现，患者的红血球细胞布满了**疟原虫属**的寄生性原生动物。（由于此项发现，拉韦朗荣获了1907年的诺贝尔医学与生理学奖。）

1894年，一位曾在香港开办过一家教会医院的英国医生曼森指出，沼泽地区隐匿着许多蚊子及潮湿的空气，因而提出蚊子可能与疟疾的传播有关。一位身在印度的英国医生R.罗斯对此想法从事研究，并于1897年证明疟疾的病原虫确实有一段生活史是在疟蚊属的蚊子体内。这种蚊子在吸患者的血液时，便将此种寄生虫吸进来，并将它传给另一个被叮咬的人。

因为他的研究首次揭示了疾病可以通过昆虫**媒介**来传播，R.罗斯获得了1902年的诺贝尔医学与生理学奖。这是现代医学的一项重要发现，因为它揭示出通过杀死带菌昆虫，可以根绝疾病。只要使滋生蚊子的沼泽干涸，减少淤积的水，并使用杀虫剂扑灭蚊子，人们就可以预防这种疾病了。自从第二次世界大战以来，世界上许多区域依此方法，而成为无疟疾地区，使死于疟疾的人数从最高点至少下降了1/3。

疟疾是最先被发现的由非细菌性微生物引起的传染病（疟疾是由原生动物引起的）。随后不久，采用类似的方法，另一种非细菌性疾病也被检查了出来，它就是令人谈之色变的黄热病。迟至1898年，在里约热内卢流行这种传染病期间，有将近95%的患者死亡。1899年，古巴发生黄热病时，美国的一个调查委员会由细

菌学家里德带领，前往古巴调查发病的原因。

里德怀疑蚊子是媒介，如同疟疾传染一样。他首先证实，这种疾病并不是因病人与医生之间的直接接触而传染，也不是因病人的衣物或铺盖所传染。于是有一些医生故意让已叮咬过黄热病人的蚊子叮咬，结果便得了此病，甚至有一位勇敢的调查员拉齐尔因此而丧命。其罪魁祸首是**埃及伊蚊**。这种传染病被检查出来后，在医药先进的国家里，便不再是一种严重的疾病了。黄热病的病原不是细菌，也不是黄热病原生动物，而是一种比细菌还要小的微生物。

第三种非细菌性疾病的例子是斑疹伤寒。这种病流行于北非，在西班牙人长期与北非摩尔人的战斗中，它便经由西班牙人传到了欧洲，一般称之为**瘟疫**。它的传染性很强，甚至曾导致许多国家的荒芜。在第一次世界大战时，当塞尔维亚军队本身无法抵挡此种伤脑筋的疾病时，奥地利军队也被这种斑疹伤寒逐出了塞尔维亚。在第一次世界大战期间及其以后，斑疹伤寒蹂躏了俄国与波兰，这两个国家约有 300 万人死于此病，其破坏程度同军事行动一样惨重。

进入 20 世纪后，主持巴斯德研究所的法国细菌学家尼科尔发现斑疹伤寒虽猖獗于都市中，但是医院里的人却不会得此病。虽然医生与护士整天和病人接触，而且医院又是那么的拥挤，然而在那儿却没有此病的传染。于是尼科尔将病人住院后所发生的事，详细考虑了一番，他突然想到一件非常重要的事情，那就是彻底地洗澡，以及除去沾满虱子的衣物，尼科尔确信体虱就是斑疹伤寒的媒介。他用实验证明了他的猜测是正确的。由于此项发现，他获得 1928 年的诺贝尔医学与生理学奖。由于他的发现及 DDT 的发明，斑疹伤寒在第二次世界大战中，没有再重演其致命的屠杀行径。在 1944 年春天，DDT 被用来扑灭体虱，全体那不勒斯人都喷洒了 DDT，将虱子全部杀死。于是有史以来的第一次，冬季传染

的斑疹伤寒(当多数人不经常更换衣服时,生虱子是很普遍的)立即被制止了。1945 年底美国占领日本后,类似的传染病也被制止

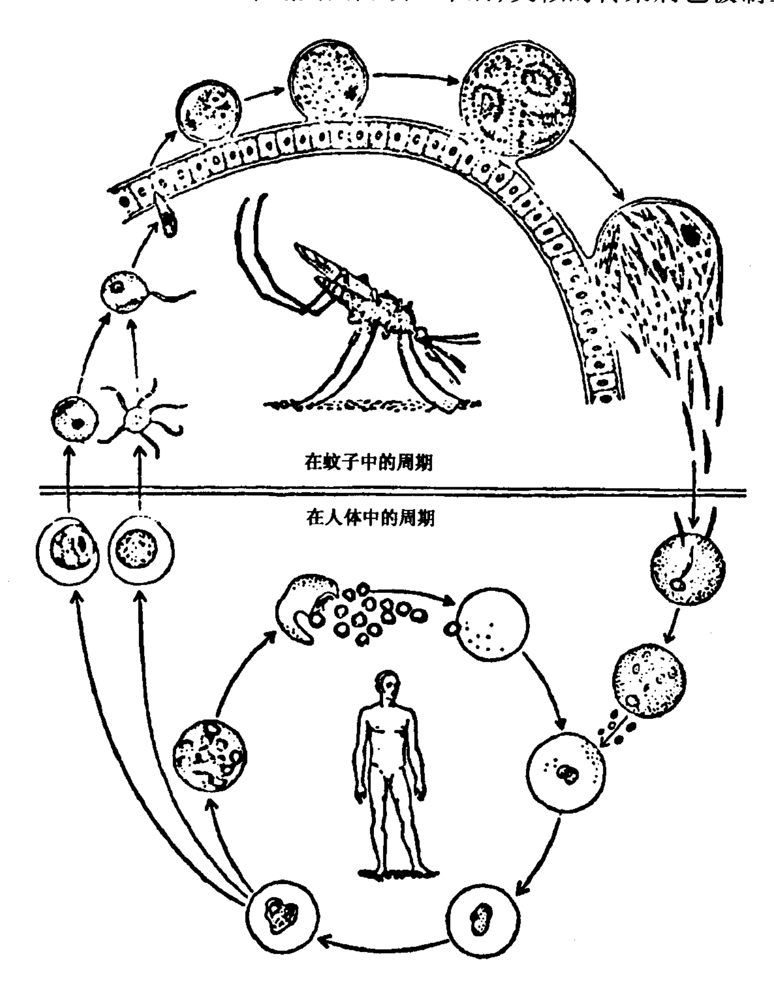


图 14-2 疟疾微生物的生活周期

了。第二次世界大战中，疾病死亡数比枪弹残杀的少，这种奇特的现象在历代战争中是罕见的。

斑疹伤寒如同黄热病一样，是由一种比细菌还小的病原所引起，我们现在将进入一个由亚细菌所构成的奇妙领域里。

亚细菌

为了对这个领域内的生物有更具体的概念，让我们以从大到小的次序来观察它们。人类卵细胞的直径大约为 100 微米(1×10^{-8}米)，是肉眼所能看见的最小东西。草履虫这种大型原生动物，在亮光下可见其在水滴中移动，它的大小与卵细胞相近。一个正常人体细胞只有卵细胞的 1/10(直径约 10 微米)，只有借助于显微镜才能观察到。红血球就更小了，其最大的直径也不超过 7 微米。最早的细菌种类，大小与一般细胞一样，但现已变得十分细微，杆状细菌的长度一般只有 2 微米长，最小的细菌是球形细菌，其直径不超过 0.4 微米，普通的显微镜几乎无法观察到它们。

很明显，有机体至此已达到最小体积来容纳其独立生命所必需的一切代谢机制。任何更小的有机体，都不能成为一自给自足的细胞，而必须寄生。打个比方说，它们必须像舍弃多余的东西一样，舍弃大部分的酶机制。无论人为供应的食物多么丰富也不能使它们生长或繁殖，因此不能像细菌那样在试管中培养。它们惟一能生存的地方就是活细胞，因为活细胞能供应它们所缺乏的酶。这种寄生物的生长与繁殖自然会使宿主细胞惨遭牺牲。

第一种亚细胞是由一位年轻的美国病理学家立克次发现的。他在 1909 年从事研究一种名叫落基山斑疹热的疾病，此病的传播者是蜱螨(一种吸血的节肢动物，类似蜘蛛)。在受感染的宿主细胞内，他发现了**包涵体**，这是一种非常小的有机体，后来就依他的名字而命名为**立克次体**。立克次以及其他人很快发现，斑疹伤寒

也是一种立克次体疾病。在求证的过程中，立克次自己也得了伤寒，在1910年去世了，年仅39岁。

立克次体可用氯霉素及四环素之类的抗菌素来消灭之。它们的直径，约为0.2～0.8微米。很显然，它们具有足够供自用的代谢机制，而跟宿主细胞有所区别，所以药物对立克次体起作用，如抗菌素治疗法就可以大幅度减低立克次体疾病的危险。

病毒在测量尺度上可算是最低的极限了，它们的大小大致与立克次体相同；事实上，立克次体与病毒之间并无很明显的界限。但是最小的病毒的确非常小，例如，黄热病毒直径只有0.02微米。由于病毒非常小，所以在细胞内察觉不到，在光学显微镜下也观察不到。一般病毒只有一般细菌大小的1/1 000。

实际上，病毒是没有任何代谢机制的，它几乎完全依靠宿主细胞的酶系统。最大的病毒中，有一些可受某种抗菌素影响，但对一般的病毒，药物也是无效的。

自从人们开始怀疑病毒的存在以来，大约已有数十年，它们终于被发现了。巴斯德在研究狂犬病时，并没有在体内找到可以被怀疑是引起这种疾病的有机体。巴斯德并不认为自己的病原菌学说是错误的，他认为此种病菌只是太小而无法看见。后来证明他是正确的。

1892年，一位俄国细菌学家伊凡诺夫斯基在研究一种使烟叶产生斑纹的**烟草花叶病**时，发现将病叶的汁液涂在健康的叶子上，会传染这种疾病。为了得到这种病菌，他将汁液通过滤孔非常细小的瓷滤器，这种滤孔甚至连最小的细菌也无法穿透，然而滤液仍能传染烟草花叶病。伊凡诺夫斯基认为，一定是他的滤器有缺陷才使细菌穿透过去。

一位荷兰细菌学家贝哲林克在1897年重复了这项实验，并得到以下的结论：这种病的病原小得可以穿透这种滤器。由于在任

何显微镜下,他在清澈的感染汁液中都看不到任何东西,而且在试管培养基中也不能培养出任何东西,因此他认为这种病原可能是一种很小的分子,大概与糖分子差不多大小。贝哲林克称这种病原为**滤过性病毒**。

在同一年里,一位德国细菌学家勒夫勒发现牛体内的口蹄疫病原也能够穿透滤器。1901 年,里德在研究黄热病的过程中,发现那种病的感染原也是一种滤过性病毒。1914 年,德国细菌学家克鲁泽证明一般的感冒是病毒所引起的。

到 1931 年,将近 40 种疾病(包括麻疹、流行性腮腺炎、水痘、流行性感冒、天花、小儿麻痹症及狂犬病)已经知道是由病毒引起的,但是病毒的特性仍然是一个谜。那时一位英国细菌学家埃耳福德终于开始利用滤器获得一些病毒,并且证明它们至少是某种物质颗粒。他利用非常细的胶棉膜分级滤出愈来愈小的病毒颗粒,并且依照他的方法从汁液中分离出这种感染病原。根据可以过滤出某种疾病病原的滤膜的细度,他能够判断出某种病毒的大小。他发现贝哲林克是错误的,即使是最小的病毒也比大部分的分子大,最大的病毒大小接近立克次体。

后来的几年里,生物学家们争论病毒是活的还是死的颗粒,它们有能力繁殖并传播疾病,证明它们是活的。但是在 1935 年,美国生物学家 W.M.斯坦利提出一项论证,似乎有力地证明病毒是"死"的,他将严重感染烟草花叶病的叶子捣烂,并尽可能地纯化、浓缩这种病毒,利用蛋白质分离技术来达到此目的。W.M.斯坦利的成功远远超过他的预料,因为他得到的病毒是晶体! 他所制备的结晶体,就如同晶体分子一样,即使这样病毒仍明显地不具活性;但如果再将它溶解在液体中,它又会恢复以往的感染性。

由于这种病毒的结晶,W.M.斯坦利与酶的结晶者萨姆纳分享了 1946 年的诺贝尔化学奖。

在斯坦利成功后的20年内，仍然只有非常简单的**植物病毒**（感染植物细胞的病毒）可以被结晶出来。直到1955年，第一种**动物病毒**才被结晶出来。那一年，施沃特和F.I.谢弗结晶出小儿麻痹病毒。

病毒能被结晶出来的事实，对于包括斯坦利在内的许多人来讲，似乎可以作为病毒是死蛋白质的一种证明。从来没有一个生命体是结晶状的，生命与晶体似乎是两件相互对立的东西。生命体是柔软、可变、能够活动的；而晶体则是僵硬、固定、极有规则的。

然而，病毒具有传染性的事实依然存在，即使结晶过的病毒，仍然具有生长及繁殖的能力。而生长与繁殖一直被认为是生命的本质。

1936年是一个转折点，两位英国生物化学家鲍登和皮里证明烟草花叶病毒含有核酸！虽然含量不多，确切地说，烟草花叶病毒含94%的蛋白质而仅含6%的RNA，但已明确地说明了这种病毒是一种核蛋白。此外，所有其他的病毒都被证明是核蛋白，它们含有RNA或DNA，或二者皆有。

核蛋白与纯蛋白质的差别，正是有生命与无生命之差别。病毒被证明含有与基因相似的要素，而基因正是生命最本质的东西。打个比方说，较大的病毒具有自由染色体的每一种特征。有些病毒甚至多达75个基因，每一个基因控制病毒结构的某一方面的形成——有的为纤维状，有的为褶状。借助核酸的突变，基因可变得不完全而有缺陷，并且依此方法，可以确定它的功能甚至位置。一种病毒的全部基因分析（包括结构及功能）是可以办得到的，尽管这只是朝着细胞有机体的全部基因分析迈出的一小步，因为细胞有机体具有更复杂的基因构造。

我们可以设想，病毒在细胞内就像一个入侵者，将控制基因赶到一旁，随心所欲地掌管了细胞的化学性质。在这种过程中，它经

常会造成细胞或是整个宿主有机体的死亡。有时候，一个病毒可用自己的基因来取代一个或一组宿主基因，引入的新特征还可以传给子代细胞。病毒也可以从它所感染的细菌细胞内获得DNA，并将它传给下一个感染的细胞。这种现象称为**转换**，这个名词是由莱德伯格提出的，他在1952年发现了这种现象。

假如基因带有细胞的“生命”特性，那么病毒就是一种有生命的东西。当然，这还得看每个人对生命的定义如何理解。我个人认为，任何能够自我复制的核酸蛋白分子都应当被认为是有生命的。依此定义，病毒和大象、人类一样是有生命的。

亲眼看到病毒比任何间接证明病毒存在更为可信。苏格兰医生伊斯特是第一位亲眼看到病毒的人，他在1887年报告说，在显微镜下可以看到牛痘水泡的液体中有一些小点状的东西，这大概是已知的最大病毒——牛痘病毒。

要想看到典型的病毒，需要比一般显微镜更好的仪器。在30年代的末期，这种更好的仪器发明出来了，这就是电子显微镜。它的放大倍率可达100 000倍，可以分辨出直径小至0.001微米的东西。

电子显微镜仍有它的弱点：被观察的物体必须放置在真空中，并且必要的脱水过程会改变物体原有的形状；此外像细胞一类的东西必须切得很薄，而且仅呈现二维空间的影像；更有甚者，由于电子会穿透生物材料，因而影像无法从背景上显示出来。

1944年，美国天文学家兼物理学家R.C.威廉斯以及电子显微镜学家威科夫，对这最后的困境共同研究出一套独特的解决办法。身为天文学家的R.C.威廉斯突然想到，正如月球上的环形山及山脉一样，当阳光斜射其上时，阴影使它们的轮廓显得格外分明，假如能使病毒投射出影子的话，就可看到病毒三维空间的影像了。这些实验者所想到的方法，是将气化金属斜着从置于显微镜

台上的病毒颗粒中吹过去，使每一个病毒颗粒的背后留下一个明显的影子。影子的长度代表着封阻颗粒的高度，而气化金属凝结成薄膜，也可以在背景上明显地衬托出病毒颗粒的轮廓来。

不同病毒的影子解开了它们的形状之谜（见图 14 - 3）。牛痘病毒的形状类似琵琶形，它的厚度大约为 0.25 微米，跟最小的立克次体差不多。烟草花叶病毒为扁棒状，长约 0.28 微米，厚约 0.015 微米。最小的病毒，例如小儿麻痹病毒、黄热病毒以及口蹄疫病毒，是小球状，直径从 0.020～0.025 微米不等，比估计的人的单个基因的大小还要小得多。这些病毒的重量大约只有一般蛋白质分子重量的 100 倍。雀麦草病毒的分子量为 450 万，大约只是烟草花叶病毒的 1/10。

1959 年，芬兰细胞学家威尔斯卡设计出一种可以利用慢速电子的电子显微镜，因为慢速电子比快速电子的穿透力差，所以能够呈现出病毒内部的细微构造。1961 年，法国细胞学家迪普伊发明了一种方法，将细菌置于充满空气的胶囊内，并利用此法在电子显微镜下观察到活的细胞，但因为没有金属影子，所以无法看到其细微构造。

一般的电子显微镜是一种**透射**的设备，因为电子穿透薄片，在另一面被记录下来。我们也有可能利用低能量的电子束来扫描要观察的物体。电子束可使物体表面的物质放射出自己的电子，再将这些放射出的电子加以分析研究。使用这种**扫描电子显微镜**，许多表面的细节都可以看到。这是由英国科学家奥特利在 1948 年发明的，并在 1958 年被广泛使用。

核酸的作用

病毒学家已能将病毒分解，并将它们再度组合起来。加利福尼亚大学一位德国血统的美国生物化学家弗伦克尔-康拉特与 R.

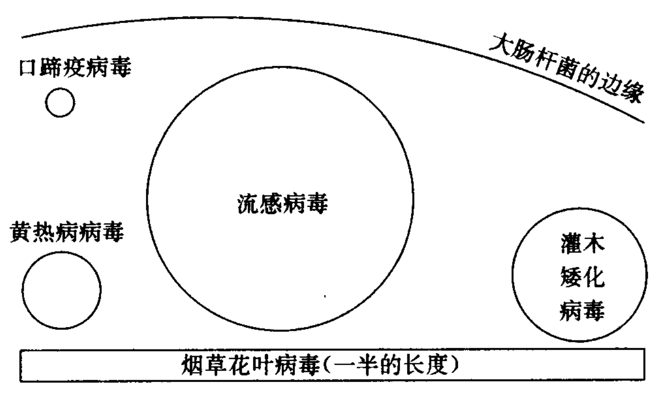


图 14-3 简单物质、蛋白质、不同病毒颗粒及细菌的相对大小

(比例尺为 3.81 厘米 = 原体的 1/10 000 毫米)

C.威廉斯合作,发现以温和的化学处理可以将烟草花叶病毒的蛋白质分解成 2 200 多个碎片,每个碎片含有由 158 个氨基酸构成的肽链,单个分子量为 18 000。1960 年终于研究出了这些病毒蛋白单元的精确的氨基酸组成。当这些单元被分解时,它们会倾向再度合并成中空的长棒状(与完整病毒的形状相同),借助钙及镁原子便能结合在一起。

总之,当这些病毒蛋白单元结合时,它们会构成几何形。刚提过的烟草花叶病毒为螺旋形,小儿麻痹病毒蛋白由 60 个亚单元排列成 12 个五角形,20 个大蚊科虹色病毒的亚单元排列成一个规则的二十面体。

病毒的蛋白质是中空的,例如烟草花叶病毒的蛋白螺旋便是由肽链绕 130 转,形成一个长而直的中空腔。蛋白质的中空腔为

病毒的核酸部分，可能是 DNA 或 RNA，但无论是哪一种，大约都含有 6 000 个核苷酸。不过施皮格尔曼也曾经发现过一种能复制的 RNA 分子，小到只有 470 个核苷酸。

弗伦克尔-康拉特将烟草花叶病毒的蛋白与核酸分开来，试图了解每一部分是否能单独地感染细胞。结果，他证明它们并不能单独感染细胞。但是当他再一次将蛋白与核酸混合后，其复活的感染力大约是原病毒样本的 50%！

这是怎么回事呢？被分开的病毒蛋白及核酸，在各个方面都显示出它们是无生命的，但是再度混合后，至少有一部分复活了。当时，大家都称赞弗伦克尔-康拉特从没有生命的物质中创造出了一种有生命的有机体。其实这只是误解而已，稍后我们将加以解释。

显然，蛋白质与核酸发生了某种重新组合，而且似乎在感染过程中，两者都起着某种作用。蛋白质与核酸各自的作用是什么呢？哪一种作用更为重要呢？

弗伦克尔-康拉特做了一项十分精巧的实验来回答这一问题。他将一种病毒的蛋白部分与另一种病毒的核酸部分混合，二者结合形成一种兼有两种特性的感染性病毒！在毒性方面（即对感染烟草的毒力程度），与提供蛋白质部分的病毒菌株相同；而在引起特殊疾病方面，则与提供核酸部分的病毒菌株相同。

此发现与早期病毒学家们对蛋白及核酸各自功能的怀疑是相吻合的。似乎是，当一个病毒攻击一个细胞时，它的蛋白外壳，或称外套，使它附着于细胞上，并打开进入细胞的通道，让病毒核酸得以侵入细胞内，从事病毒颗粒的复制。

当弗伦克尔-康拉特的混种病毒感染一片烟草叶后，在叶细胞内繁殖出的新一代病毒，被证明不是混种病毒，而是提供核酸部分的病毒复制，这种复制遗传了该病毒的感染毒性及引起疾病的类

型。换言之，核酸可以指令新病毒蛋白外套的合成。它能合成属于自己那种病毒的蛋白质，而不是属于和它混种的那种病毒的蛋白质。

如此便确实证明了核酸是病毒的“生命”部分，也可以说，核酸是任何核蛋白的“生命”部分。事实上，弗伦克尔-康拉特在更进一步的实验中发现，纯病毒核酸对烟草的感染能力很小，大约是完整病毒能力的 0.1%。很显然，核酸有时候也会自行侵入一个细胞。

所以把病毒核酸与蛋白加在一起形成一个病毒，这并非从无生命物质中创造出生命，而是生命原来就以核酸的形态存在了。病毒蛋白只是保护核酸避免被环境中的水解酶(**核酸酶**)作用，并促使感染与繁殖更加有效率罢了。我们可以将核酸部分比喻为一个人，蛋白部分比喻为一部汽车，二者结合后，就可很容易地从此处移动到他处。汽车本身是不会旅行的，人可以步行远足(有时候如此)，但汽车是一个很有用的辅助工具。

有关病毒感染细胞的机制，在对一种叫噬菌体的病毒的研究上得到清楚而详尽的了解。英国细菌学家特沃特在 1915 年发现了**噬菌体**；1917 年，加拿大细菌学家德爱莱尔也独立地发现了噬菌体。说也奇怪，这些病毒竟然是捕食细菌的。德爱莱尔将之命名为噬菌体，是希腊文“食细菌”的意思。

噬菌体是非常便于研究的东西，因为它们能在试管中与其宿主细胞一起被培养。其感染及繁殖的过程如下：

典型噬菌体(研究者通常称为**噬体**)的形状，像是一只小蝌蚪，有一个短粗的头和一条尾巴。在电子显微镜下，研究人员已能够看到噬菌体以其尾部来抓住细菌的表面。此种现象的最佳解释是：尾端的电荷(由带电荷的氨基酸来决定)。与细菌表面某一部分的电荷相吸引。这两种相反而互相吸引的电荷精确地配合在一起，就好像镶假牙一般天衣无缝。一旦此病毒以尾部附着在受害

细胞上，就会在细胞壁上打开一个小小的开口，此过程可能是用酶切断附着点的分子完成的。至于在电子显微镜的照片上，看不出任何事情发生，噬菌体，至少其可见的外壳，仍然附在细菌的表面。至于细菌内部的活动，则是无法看到的。但经过半小时后，细胞破裂了，数以千计的成熟病毒倾巢而出。

很明显，这整个过程中只有进攻病毒的蛋白外壳留在细胞外，在壳内的核酸则是经过由蛋白质组成的壁上的孔进到细菌体内的。美国细菌学家赫尔希利用放射性示踪剂，查明侵入的物质只是核酸，而不含任何可被探测到的蛋白质。他以具有放射性的磷及硫原子来标记噬菌体（先是细菌从培养基中得到这些放射性同位素，再使噬菌体生长在这些细菌上），磷可出现于蛋白质及核酸中，而硫只能出现于蛋白质中，因为在核酸里并不含硫原子。要是有这两种示踪剂标记的噬菌体侵入到细菌内，它所产生的后代具有放射性磷，而无放射性硫，这个实验就表明，亲代病毒的核酸已进入细胞，而其蛋白质并未进入。不含放射性硫，表示在病毒子代中所有的蛋白质，都是由宿主细菌供给的。事实上，实验结果正是这样：新的病毒含有放射性磷（是由亲代提供的），而不含放射性硫。

核酸在生命过程中的重要作用再度得到证明。显然，只有噬菌体的核酸进入细菌体内，并在里面负责利用细胞内的物质，来合成新的病毒——蛋白质及其他一切。

人们发现，引起马铃薯梭状块茎病的实际感染源确实是一种不寻常的小病毒。1967 年，微生物学家迪纳尔认为此种病毒是一条裸露的 RNA，他将核酸中这种具有感染性的小东西（除去蛋白质）命名为**类病毒**，现在约有 6 种植物疾病被认为是由类病毒感染引起的。

类病毒的分子量约为 13 万，只有烟草花叶病毒的 1/300。在

一条类病毒的核酸里，只有 400 个核苷酸，但也足够进行复制与存活了。类病毒可能是已知的最小生物。

这种类病毒被认为与动物的某些不太清楚的退化性疾病有关，如果这种病是因为病毒而引起的话，则属**慢性病毒**造成的。慢性病毒需要很长时期才能表现出病症来。原因可能是裸露的短股核酸，其感染速率缓慢。

免疫反应

除人类自身外，病毒是人类最可怕的有生命的敌人。因为病毒可与人体内的细胞紧密地结合在一起，所以不容易受到任何化学药品及任何其他疗法的攻击。然而即使在最差的状况下，我们仍然可以抵御入侵的病毒及病原体。人类对于疾病有很强的天然抵抗力。

让我们以 14 世纪最恐怖的瘟疫——黑死病为例，来看看人的抵抗力到底如何。黑死病首先侵袭一群困苦无助的欧洲人。他们住在极度肮脏、拥挤的落后地区，没有任何现代卫生的观念，也没有输水设备，更没有任何适当的医疗条件。这些人固然可以逃离受害地区，但是，这反而使黑死病散布得更快更远。黑死病虽然肆虐全欧洲，但 3/4 的欧洲人依然成功地抵御了黑死病的侵害。这项历史事件最令人吃惊的不是欧洲 1/4 人死了，而是 3/4 的人度过浩劫活了下来。

人对于某种疾病有天然的抵抗力，这是很明显的。例如，面临同样严重的传染病，有些人只轻微发病，也有些人会生场大病，而

另外有些人则会因此丧命。人类对某些疾病也可能具有完全免疫的能力。这种能力可以是先天的,也可以是后天获得的。比方说,一个人只要患过一次麻疹、流行性腮腺炎或水痘,就可以终身免疫。

上述三种病症碰巧都是由病毒引起的。但它们只引起比较轻微的病征,很少使人死亡。即使其中最厉害的麻疹,通常也只是使小孩产生轻微的不适而已。人体是如何战胜入侵病毒的呢?战胜后又是如何加强自身的防卫力量而使战败的病毒永不再入侵的呢?在解决这些问题的过程中,发生了一段感人肺腑的现代医学科学的插曲。叙述这个故事之前,我们必须先追溯人类征服天花的历史。

天花

18世纪末叶,天花是一种令人闻风丧胆的疾病,不仅因为它会夺取人的生命,而且因为它会在病愈者的脸上留下永不消退的瘢痕。轻微的天花会在人的皮肤上留下一点一点的小坑,严重者则会使人面目全非,难以见人。当时,绝大部分的人脸上都有天花留下的瘢痕,而那些尚未染上天花的人则生活在恐惧之中。

早在17世纪时,土耳其人就开始故意用温和型天花感染自己,希望由此种做法而免受天花之害。他们的做法就是在自己的皮肤上抓出伤痕来,再从感染轻微天花者身上的水泡里取出液体,涂在伤口上。如此一来,有些人的确只感染了轻微的天花,而有些人却面目全非,还有些人甚至死去。土耳其人这种做法显然很冒险,但是,天花实在给人们以无限的恐惧,逼得人们只好冒险一试以免受其害。

1718年,英国著名的美女蒙塔古女士伴随丈夫短期出使土耳其。当她闻知土耳其人的方法后,便用此法接种自己的孩子。他

们果真都免于天花的伤害。不过,这种做法并未引起英国人的注意,部分原因可能是蒙塔古女士是出了名的怪人。在大西洋的彼岸,也发生了一个类似的例子:当天花盛行之际,美国波士顿的一位医生博伊尔斯顿对241人施行接种,结果仅6人死亡。他非但没有因此而受到赞扬,反而因为6个人的死亡而受到颇大的责难。

在英国格洛斯特郡,某些乡下人对于如何躲避天花另有一套办法。当地人相信:感染牛(有时也会感染人)的牛痘会使人同时对牛痘和天花具有免疫力。如果事实真是如此,那就太好了!因为牛痘几乎不发疱,也不会在人体上留下任何痕迹。当地一位名为詹纳的医生认为这种乡下人的“迷信”可能有一定的道理。他注意到:挤牛奶女工特别容易感染牛痘,很明显也特别不容易感染天花。(或许就是这个因素,使得18世纪的人们喜欢将浪漫色彩加在那些漂亮的挤牛奶女工身上。洁净的面貌毕竟比满布瘢痕的脸要好看多了。)

会不会是因为牛痘与天花很相像,所以人体具有抵抗牛痘的能力之后就能抵抗天花呢?詹纳非常小心地对这个想法开始进行实验。(首次实验的对象可能就是自己家里的人。)到了1796年,他决定做一次也许要付出最大牺牲的实验:他从一名挤牛奶女工手上的牛痘水泡取出汁液,给一名8岁儿童菲普斯接种了牛痘。两个月后,再进行最重要且最冒险的部分。詹纳故意将天花接种在菲普斯身上。菲普斯果真未患病,他对天花免疫了!

詹纳称这个方法为**种痘**(源自拉丁文的“牛痘”)。种痘立即如野火般地传遍整个欧洲。在医学史上,像种痘这种医学上的革命能够如此轻易而且几乎立即为大众所接受的例子实属罕见。这或许是因为天花早已在人们心中蒙上浓厚的死亡阴影,而人们在长期苦于无对策的情况下,自然就愿意去尝试任何新方法,只要这种方法可使他们免于受害。甚至医学界对于种痘也很少反对,尽管

少数医学权威人士竭力阻挠。詹纳早在1813年就被提名为英国皇家医学会会员，却未被吸收，理由是他没有完全遵守希波克拉底及加伦（医学之祖）的医理。

时至今日，天花似乎已经销声匿迹，不再危害大众了，因为很少有人不种痘免疫再患天花了。美国自1949年起，全球自1977年起，没有发现一起天花病例。但某些实验室仍存有天花病毒的样本供研究使用，而且，意外事故仍可能发生。

疫苗

在种牛痘成功后的一个半世纪里，人类一直在努力寻找类似的治疗方法，以对付其他严重疾病。可惜的是，人类在这条道路上并无任何进展，直到巴斯德在多少有点偶然的情况下，也发现将微生物毒性减弱可以使一种原本严重的疾病变得轻微，人类才又向前跨出一大步。

巴斯德用一种引起鸡霍乱的细菌为实验材料。他将菌液加以浓缩，使它的毒性加剧，只需在鸡的皮下注射一点菌液，就可使鸡在一天之内死亡。有一次，他用已经培养了一星期的培养液注入鸡体内，出乎意料之外，鸡的病情轻微而且很快就复原了。巴斯德以为那次的培养液已经坏了，于是他重新制备了一批剧毒培养液。但是，这次新的培养液却未能使那些注射过“失效”培养液的鸡得病。很明显，鸡在感染毒性减弱的细菌之后，已具有抵抗未减毒细菌的能力。

就某方面来说，巴斯德是为鸡的“天花”制造了人工“牛痘”。虽然这个实验与牛痘毫不相干，但巴斯德仍然称它为**种痘**，以表明詹纳的理论对他的帮助。从那时候起，人们就普遍地用种痘来表示对任何疾病的接种，而把用来接种的物质称为**疫苗**。

除了以上的方法之外，巴斯德还研究出其他削弱病原体毒性

(**减毒**)的方法。例如,他发现只要将培养中的炭疽杆菌加热至某一温度就可获得低毒性的菌株,这种菌株可使动物对炭疽病具有免疫力。在此之前,炭疽病原是一种无药可治的传染病,一群牛中,只要有一头牛感染此病,人们就得将整群牛宰杀并烧毁。

巴斯德最闻名的成就是征服了**狂犬病**。狂犬病由狂犬传染,人若是被狂犬咬了,经过两个月的潜伏期后,就会疯狂地发作,往往是非常痛苦地死去。

巴斯德无法找到肉眼看不见的作为病原的微生物(当然,巴斯德对病毒毫无认识)。正因为如此,他只好用活的动物来培养这种微生物。他将感染液注入兔脑中,让病毒在那里繁殖,然后将兔子的脊髓捣碎,再将抽出的液体注入其他兔脑中。如此反复进行,直到抽出液的毒性弱到不使兔子发病为止。随后,他再将正常的狂犬病毒注入这些兔子体内,结果证明这些兔子已具有免疫力。

1885年,巴斯德得到一个以人体为实验对象的机会。那年,一位9岁小男孩迈斯特被疯狗咬得很严重,人们将他送到巴斯德那里求救。因为事出紧急,巴斯德只好在满怀疑虑与犹豫的情况下,将已经连续减毒的培养液接种在小男孩身上,希望在潜伏期过去之前使小男孩具有免疫力。他成功了。起码小男孩被救活了。(迈斯特长大后成为巴斯德研究所的看门工。1940年纳粹德军攻入巴黎,命令迈斯特打开巴斯德研究所的地下室,他因而自杀。)

1890年,德国科赫实验室的军医贝林对于冒险将微生物(即使已经减毒)注入人体感到不安,于是他设法寻找另一条解决问题的途径。假设病原体会使生物的肌体合成某种有抵抗力的物质,那么,先用病原体感染动物,再把动物产生的有抵抗力的物质提取出来,然后把这种有抵抗力的物质再注射到病人身上,不是可以得到用病原体直接注射的同样效果吗?

贝林发现这个理论确实行得通。血清中的确出现了有抵抗力

的物质。贝林称之为**抗毒素**。他使动物产生破伤风及白喉抗毒素,并将白喉抗毒素首先用在一个患白喉的小孩身上,效果非常好。于是,抗毒疗法立刻被采用,使白喉的死亡率大幅度下降。

P.埃尔利希与贝林合作大概地计算出了抗毒素的适当用量。(后来,P.埃尔利希还发现了治疗梅毒的特效药。)由于P.埃尔利希生性暴躁,后来就与贝林分道扬镳了,P.埃尔利希独自继续进行有关血清疗法基础理论的详细研究。贝林获得1901年第一届诺贝尔医学与生理学奖,P.埃尔利希也在1908年与一位俄国生物学家共获此项特殊荣誉。

抗毒素虽然免疫效果很好,但其效果无法维持长久,因为人体血液中若没有抗毒素就会失去免疫力。后来,法国细菌学家拉蒙发现,只要把白喉或破伤风的毒素用甲醛或加热处理,就可以使毒素的结构发生改变,形成一种新的物质,可以很安全地注入病人体内。这种经过处理的毒素叫做**类毒素**。注射类毒素后人体自身产生的抗毒素比动物的抗毒素效果要长久,而且必要时可以再注射而重获免疫力。因此,自从1925年类毒素问世之后,人们就不再恐惧白喉了。

人们还常用血清反应来鉴定疾病,其中以**瓦色曼试验**最为著名,此法是由德国细菌学家瓦色曼在1906年为了鉴定梅毒而使用的。这种技术是比利时细菌学家博尔德首先发明的,博尔德专攻血清中称做**补体**的部分,他证明补体是由一些互相联系的酶组成的一个复杂体系。由于在此方面的卓越成就,他获得了1919年的诺贝尔医学与生理学奖。

巴斯德与狂犬病毒艰苦奋战的过程,表明病毒并不容易对付。细菌可以在试管内的人造培养基中培养和控制,使其毒性降低。可是,用相同的方法对付病毒就行不通了,因为病毒一定要在活组织中才能生长。在治疗天花的实验中,牛痘病毒的宿主就是牛与

挤牛奶女工;在狂犬病实验中,狂犬病毒的宿主就是兔子。用活的动物来培养病毒既不方便花费又大,而且耗时冗长。

1900—1925年间,法国生物学家卡雷尔成功地使组织在试管内存活。这一成果对医学研究具有重要价值,卡雷尔因此出了名。在他当外科医生时,就对组织培养产生了兴趣,他发明了移植动物血管及器官的新方法,因此获得1912年诺贝尔医学与生理学奖。为使切除下来的器官维持生命力,必须发明供给待移植器官营养的方法,他的方法就是用血液浸润器官并供给各种萃取物及离子。作为附带的收获,在林德伯格的协助下,卡雷尔发明了一种粗糙的**机械心脏**,用来推动血液流过培养的组织。

卡雷尔的装置可以使鸡胚的心脏活动34年之久,远比鸡本身的寿命长。他进一步尝试用组织培养来繁殖病毒。虽然他成功地使病毒在培养组织上繁殖了起来,但是为了取得纯种病毒,又不得不采取许多麻烦的灭菌措施,还不如用动物来繁殖病毒简便。

就在此时,有人发现用整个鸡胚来繁殖病毒比只用部分组织要好,因为,第一,鸡胚本身就是一个自给自足的有机体,无需供给养分;第二,有蛋壳防护,而且鸡胚本身对细菌有天然的抵抗力;第三,鸡蛋既便宜又可以大量获得。1931年范德比尔特大学的病理学家古德帕斯丘及他的同事成功地将病毒移入鸡胚内,首次使获取纯种病毒变得与获取纯种细菌一样简单。

1937年,利用鸡胚培养病毒的方法在医疗上取得了第一项重大的胜利。在洛克菲勒研究院,细菌学家仍在寻找进一步防止黄热病毒的方法。要完全消灭传播黄热病的蚊子毕竟是不可能的,而被感染的猴子仍然是热带黄热病的病源,经常地威胁着人们。该研究院一位来自南非的细菌学家泰累尔着手制取低毒性黄热病毒。他使病毒连续在200只鼠胚及100只鸡胚中繁殖,终于找到只会引起轻微症状而又对黄热病具有完全免疫力的突变种。由于

此项成就,泰累尔荣获 1951 年诺贝尔医学与生理学奖。

利用胚胎培养病毒的方法虽已成功,但是无论在繁殖的速度、条件控制及效率上都比不上在玻璃器皿里培养。20 世纪 40 年代末,哈佛医学院的恩德斯、韦勒以及罗宾斯改进卡雷尔的实验,获得令人满意的结果。(卡雷尔没有看到他们的成功,因为他在 1944 年就去世了。)恩德斯三人成功的原因在于有了防止细菌感染组织培养的新的有力武器——抗菌素。他们将青霉素及链霉素加入维持组织生存的血液中,结果细菌死亡了,病毒照常繁殖。随后,他们就以脊髓灰质炎病毒为实验对象,结果相当令人兴奋,脊髓灰质炎病毒在这种培养基中繁殖了起来。此项实验的成功使人类征服了脊髓灰质炎。他们三人因此共同获得 1954 年诺贝尔医学与生理学奖。

利用性情暴躁的猴子来培养脊髓灰质炎病毒既不安全又费钱,而现在可以在试管里培养这种病毒,因而可以用这种病毒进行大规模的实验了。由于组织培养法研究成功,匹兹堡大学的索尔克才得以对这种病毒进行化学处理,他发现被甲醛杀死的脊髓灰质炎病毒仍旧可以引起人体的免疫反应。他据此发明了闻名遐迩的**索尔克疫苗**。

脊髓灰质炎不仅致死率高而且病愈后常会有肢体麻痹的后遗症,此种情形对小孩尤其严重(因此,脊髓灰质炎又名为**小儿麻痹症**)。这似乎是一种近代流行病,在 1840 年以前没有这种流行病的记载。因为美国总统 F.D. 罗斯福也患了这种病,所以这种病格外引人注目,使征服脊髓灰质炎成为人类历史上战胜疾病的最光辉的胜利之一。当 1955 年审议委员会宣布索尔克疫苗确实有效时,这个消息立刻受到如同好莱坞首场演出式的欢迎。这是医学史上前所未有的盛况。这是理所当然的,因为索尔克疫苗的成功比起那些可以使人为之疯狂的表演更值得庆贺与赞扬。但是科学

不是靠狂热的宣扬兴旺起来的。由于急于满足公众对疫苗的要求,显然造成了少量不合要求并能致病的疫苗样本外流,因而激起公众的强烈反对,使利用索尔克疫苗防止脊髓灰质炎的计划受挫。

虽然暂时受挫,但是后来人们发现索尔克疫苗的确有效,而且制造得当的话,也很安全,所以计划再度顺利进行。1957 年波兰出生的美国微生物学家萨宾做了进一步的发展。他不像索尔克用死的病毒(病毒万一没有全部杀死仍会引起很大的危险),而用一种活的病毒菌株。此种菌株的病毒不会致病反而会使人产生抗体,这就是**萨宾疫苗**。萨宾疫苗可以直接口服,而不必采取皮下注射的方法。萨宾疫苗最先受到苏联的欢迎,然后传到东欧各国,1960 年传入美国。从此,脊髓灰质炎给人们造成的恐惧解除了。

抗体

疫苗究竟是怎样抵抗疾病的呢?这个问题的答案可能会给我们一把了解免疫的化学钥匙。

半个多世纪以来,生物学家早已知道抗体是人体能抵抗感染的最主要因素。(当然,还有吞食细菌的白血球细胞,叫做**吞噬细胞**。吞噬细胞是由俄国生物学家梅奇尼科夫 1883 年发现的。梅奇尼科夫继巴斯德之后任巴黎的巴斯德研究所所长,1908 年与 P.埃尔利希共获诺贝尔医学与生理学奖。不过我认为,吞噬细胞对抵抗病毒无帮助,与免疫力的产生似乎也无关系。)病毒,实际上几乎任何一种异物,一旦加入肌体的化学过程就称做**抗原**。抗体是人体制造的一种抵抗特定抗原的物质,即抗体与抗原结合,使抗原无法发生作用。

在化学家真正找到抗体之前,他们就确信抗体一定是蛋白质。原因之一就是所有熟知的抗原都是蛋白质,蛋白质自然容易与蛋白质相结合;况且,只有蛋白质的精细结构才能识别出某种特定的

抗原并与之结合。

早在20世纪20年代初期,兰德施泰纳(血型的发现者)做了一系列实验,结果证明各种抗体确实具有很强的专一性。他用以诱发产生抗体的物质不是抗原而是一些人所熟知的简单化合物,这些化合物都含有砷,称为**对氨基苯砷酸**。对氨基苯砷酸在与简单蛋白质(如蛋清中的清蛋白)结合的化合物中扮演了抗原的角色:当把它注入动物体内时,就会在血清中产生抗体。此外,这种抗体对它具有专一性,因为此种动物血清只凝集对氨基苯砷酸-清蛋白的复合物,而不与单独的清蛋白发生作用。有时候,的确可以使抗体与没有跟清蛋白结合的对氨基苯砷酸产生反应。兰德施泰纳还证明,对氨基苯砷酸结构上的某些微小改变都会在抗体上表现出来。由一种对氨基苯砷酸引起的抗体对结构略有改变的另一种对氨基苯砷酸不产生反应。

兰德施泰纳将与对氨基苯砷酸类似的化合物称为**不完全抗原**(或**半抗原**),它们与蛋白质结合会促使动物产生抗体。生物学家推测,天然抗原在其分子的某个特殊区域可能具有不完全抗原的作用。根据这个理论,细菌或病毒之所以可以制成疫苗乃是因为它们在经过处理后,结构发生了变化,足以降低其损害细胞的能力,但不完全抗原仍然完整如初,所以依然可导致抗体生成。20世纪80年代初期,由R.A.勒纳领导的一组科学家,模仿流行性感冒病毒,利用一种人造蛋白质,制成了一种合成疫苗,将此种合成疫苗注入天竺鼠体内,结果天竺鼠对这种病毒产生了免疫力。

探索天然不完全抗原的化学性质是一件有趣的事。如果它们的性质能够确定的话,那么或许可以利用这些不完全抗原或它们与无害蛋白质的结合物作为疫苗,来诱发某一特定抗原的抗体。这种做法可以避免使用毒素或低毒性病原体所带有的危险性。

一种抗原究竟怎样引起一种抗体的呢? P.埃尔利希认为,身

体内平时有少量的各种可能需要的抗体存在，只要入侵抗原与合适的抗体产生反应，通过结合，抗体能够将毒素中和，使毒素不能参与任何有害于身体的反应，身体就会供给更多的这种抗体。虽然某些免疫学家仍笃信这一理论或其修正版，但这种说法颇令人怀疑。因为动物似乎不可能准备好千千万万种抗体以对抗各种抗原，包括对氨基苯砷酸之类的非天然物质在内。

另外一些人则认为，身体内存在着一般性蛋白质分子，这些蛋白质分子可以改变形状与任何抗原结合。也就是说，抗原充当了抗体成型的模板。1940 年，泡令提出了这种理论。他认为，各种抗体只不过是同一基本分子的各种不同形式而已，所不同的只是折叠的方式。换句话说，抗体会随抗原而改变其形状，就像手套可随手形改变一样。

随着蛋白质分析技术的进步，1969 年，由埃德尔曼所领导的科学家小组终于研究出由 1 000 多个氨基酸组成的一种典型抗体的结构。埃德尔曼因此获得 1972 年诺贝尔医学与生理学奖。

卡普拉进一步证明，氨基酸链上确实有**高变异**区。很明显，氨基酸链上比较稳定的部分起着形成一个容纳高变异区的三维结构的作用，而高变异区可以通过链内氨基酸各种变化的结合和几何构型的变化自行确定适合某种抗原。

通过结合，抗体能够将毒素中和，使毒素不能参与任何有害于身体的反应，抗体也可以与病毒或细菌表面上的一些区域结合。假如一个抗体能够同时与两个不同的点结合的话（一个点在一个微生物的表面上，另一个点在另一个微生物的表面上），那么抗体就可以引起凝集反应，使两个微生物粘在一起而丧失繁殖或入侵细胞的能力。

抗体的结合会对参与结合的细胞产生标记作用，使吞噬细胞比较容易将它吞食掉。此外，抗体的结合可能促使补体系统更活

跃,因而使补体系统能够利用酶在入侵细胞的壁上穿孔,将入侵细胞消灭。

就某些方面而言,抗体的专一性并不完全是优点。假如病毒发生突变使其蛋白质结构稍有不同,那么,病毒原有的抗体往往不能适应这种新的结构。也就是说,对某一菌株的病毒具有免疫力,对另一菌株的病毒则未必可以免疫。常见的流行性感冒和普通感冒的病毒特别容易发生小突变。这正是我们易于一再患感冒的一个原因。特别是流行性感冒,有时会发生毒力很大的突变,袭击没有防备和没有免疫力的人们,如 1918 年发生的流感和 1957 年的亚洲流感,后者死亡人数较少。

身体形成抗体的效率太高还有一个令人讨厌的后果,即身体产生抗体的倾向甚至排斥正好进入身体的无害蛋白质。于是身体就会对这种蛋白质产生**过敏**,因而可以与任何后来进入身体的本来无害的蛋白质发生剧烈反应。这种反应可以出现发痒、流泪、鼻及喉中产生粘液、气喘等。这类反应就是**过敏反应**。某些植物的花粉(可以引起枯草热)、食物、动物的皮毛等都会引起过敏反应。急性过敏反应可以使人严重致残甚至死亡。法国生理学家里歇因为发现**过敏性休克**而荣获 1913 年诺贝尔医学与生理学奖。从某种意义上说,每个人对任何其他人多少都有过敏现象。把一个人的器官移植给另一个人是不会奏效的,因为受植者的身体将植入的组织作为外来蛋白质对待,从而产生抗体来对抗它。人与人之间的器官移植最好在同卵双胞胎身上进行,因为同一的遗传使他们体内的蛋白质完全相同。他们不仅可以交换部分组织,而且能够交换整个器官,如肾脏。

1954 年 12 月,波士顿某医院第一次成功地进行了同卵双胞胎间的肾脏移植手术。受植者 1962 年因冠状动脉疾病而去世,时年 30 岁。从 1954 年以来,成千上万的人接受了肾脏移植,不过都

不是同卵双胞胎间的移植。他们中有的人活了几个月，有的人则活了几年。

在肾脏移植成功之后，人们又试图移植其他器官，如肺和肝。但是，最令人注目的是心脏移植。1967 年 12 月，南非外科医生 C.巴纳德首次相当成功地完成了人体心脏移植手术。这位幸运的受植者是一位退休的南非牙科医生布莱伯格，他靠别人的心脏活了好几个月。

此后，心脏移植狂热了一阵子，但是这股热潮到 1969 年就逐渐消退下去。受植者都活不久，因为组织排斥的问题似乎无法解决，尽管人们千方百计试图解决身体拒绝接受本体外的组织的问题。

澳大利亚细菌学家伯内特曾经提出这样一个看法：可以让胚胎组织对异体的组织免疫，这样独立生存的动物或许可以容忍异体组织的移植。英国生物学家梅达沃利用鼠胚证明确实如此。他们两人因此共同获得 1960 年诺贝尔医学与生理学奖。

1962 年，在英国工作的法国血统的澳大利亚免疫学家 J. F. A. P. 米勒进一步研究，发现对胚胎免疫可能使其以后能够容忍异体组织。他发现胸腺（当时还不知道其功能）可以制造抗体。如果在小白鼠出生时立即将胸腺切除，那么三四个月后，小白鼠会因无力抵抗疾病而死亡。但是，假如在小白鼠出生 3 周后才切除胸腺，那么因为小白鼠体内已经形成产生抗体的细胞，所以对小白鼠并无妨害。胸腺尚未发挥功能的胚胎可以经过处理，“学会”容忍异体组织；可能有一天，我们可以通过胸腺提高组织的容忍能力，在需要时，甚至可以提高成年人组织的容忍能力。

但是，即使组织排斥的问题得到解决，仍存在其他一些严重问题。比方说，移植器官的来源问题。接受某一活器官的人终归要从放弃这一器官的人那里取得，于是便产生了这样一个问题：可能

的捐献者什么时候可以被认定是死了，从而可以取出他的器官呢？

在这方面最好是能制造出人工器官。因为人工器官既没有组织排斥，也不涉及难办的道德纠纷。在20世纪40年代就开始使用人工肾脏，失去天生肾功能的人只要每星期去一两次医院，洗去血液里的废物，就可以活下去。装上人工肾脏的人，生活要受到限制，但总比死了好。

20世纪40年代，研究人员发现，往血液里释放少量**组胺**会引起过敏反应，由此成功地找到了可以中和组胺的**抗组胺药**。抗组胺药虽然可以减轻过敏症状，但不能根除过敏反应。瑞士出生的化学家博韦1937年在巴斯德研究所首先合成出抗组胺药。为此及其后来在化学疗法上的成就，他获得1957年诺贝尔医学与生理学奖。

制药厂商注意到流鼻涕及其他过敏症状与一般感冒非常相似，由此认定，对过敏反应有效的药，对感冒也会有效。因此，1949年到1950年间，抗组胺药片泛滥于整个美国。（后来，人们发现这些药片对感冒几乎毫无用处，抗组胺药片就不再流行了。）

当人体对自身的某种蛋白质产生过敏时，变态反应是非常有害的。在正常情况下，身体自受精卵开始，在发育的过程中会适应自身的各种蛋白质，但是，有时候这种调节作用会丧失。原因有以下几种可能：第一，在某些方面，身体制造的排斥异体蛋白质的抗体与身体自身的某种抗体在结构上过于接近；第二，随着年龄的增长，一些细胞的表面发生了足够的变化，开始把抗体细胞视为异物；第三，一些不明病毒，在通常情况下几乎无害，但在感染时，会在细胞表面产生微妙的变化，结果引起**自身免疫病**。

直到最近才知道，在人的疾病中，自身免疫病反应比我们先前所知道的更普遍。尽管大多数自身免疫病并不常见，但类风湿性关节炎却是相当常见的。这种病非常难治，不过在明白病因之后，

我们就可以找到有效治疗的方向,治愈的希望自然大为增加。

由于电泳蛋白质分离技术的发明,生物学家终于追踪出抗体在血液中的具体位置,在血液中的 γ **球蛋白**里找到了抗体。

医生早就知道,有些小孩无法合成抗体,所以很容易受到感染。1951 年,华盛顿沃尔特·里德医院的医生,对一名患有严重**败血症**的 8 岁小男孩的血浆作电泳分析,结果令他们大吃一惊,因为小男孩的血浆中竟然没有 γ 球蛋白。人们很快就发现了其他相同的病例。研究人员证实:这是由于先天的新陈代谢方面的缺陷剥夺了人体制造 γ 球蛋白的能力。他们称这种病为 **γ 球蛋白缺乏症**。这类病的患者不能对细菌产生免疫力,不过现在他们可以靠抗菌素维持生命。令人惊奇的是,他们对病毒感染如麻疹、水痘等,只要患过一次就会产生免疫力。显然,抗体并不是人体抵抗病毒的惟一武器。

1957 年,以艾萨克斯为首的英国细菌学家小组证实,在病毒入侵的刺激下,细胞会释放出具有多种抗毒性能的蛋白质。它不仅破坏参与直接感染的病毒,也攻击其他病毒。这类蛋白质被命名为**干扰素**。干扰素比抗体的产生快得多,而且可以说明患 γ 球蛋白缺乏症的人具有抵抗病毒能力的原因。显然,干扰素是在病毒中发现的那种双链病毒中的 RNA 的刺激下产生的,干扰素似乎指导着信使 RNA 的合成。信使 RNA 产生的抗毒蛋白抑制病毒蛋白的产生,但不抑制其他形式的蛋白质产生。干扰素似乎与抗菌素一样有效,而且不会引起身体的反抗,但是,干扰素具有相当强的特异性。只有人或灵长类所产生的干扰素才会在人体内发挥作用。

人类或近似人类的动物需要干扰素,人类细胞产生干扰素的量又极少,这种情况使人们长期以来不能大量获得足够临床使用的干扰素。

但是，从 1977 年开始，洛希分子生物学研究所的佩斯特卡着手研究纯化干扰素的方法，终于获得成功，而且发现干扰素如同一些极其相似的蛋白质一样存在着。第一个被纯化出来的干扰素是**γ-干扰素**，分子量为 17 500，由 166 个氨基酸构成。后来又研究出 12 种干扰素的氨基酸顺序，结果发现彼此间的差异很小。

人们找到了负责形成干扰素的基因，并利用重组 DNA 技术将这种基因嵌入普通的细菌**大肠埃希氏菌**，这样来诱导这些细菌的菌落制造大量的非常纯的人体干扰素，从而使这些干扰素可以分离并结晶。得到的晶体可以用 X 射线进行分析，以确定其三维结构。

到 1981 年，已有足够的干扰素供临床试用。这里没有出现任何奇迹，但要研究出适当的方法需要时间。

新的传染还会偶尔出现。20 世纪 80 年代出现了一种可怕的疾病，叫做**获得性免疫缺损综合征**，简称**艾滋病**。患这种病的人免疫机制损坏，因而小的感染就会致命。艾滋病主要攻击男性同性恋者、海地人和接受输血的人。这种病散布非常快，而且往往致命。到目前为止，艾滋病还是不治之症，但是，1984 年在法国和美国分离出了引起艾滋病的病毒，在治疗艾滋病方面迈出了第一步。

癌

当流行病对人类的威胁逐渐消失之际，其他类型的疾病却在增加。在 100 年前，许多人年纪轻轻就可能死于白喉、肺结核、肺

炎或斑疹伤寒。现在人们可以一直活到死于心脏病或癌。这就是心脏病、癌症在西方世界被分别列为第 1 号和第 2 号致死疾病的原因。事实上,癌症继瘟疫及天花之后已成为全世界的恐惧症。癌如同夜魔一般威胁着我们每一个人,随时可以对任何人进行突然而无情的袭击。在美国,每年有 30 万人死于癌,每星期约增加 1 万多新患者。自 1900 年起,发病率已增加了 50%。

癌症实际上是一类多种疾病(目前已经知道的约有 200 种)。癌能够以各种方式感染人体的任何部位,但原发病症总是相同的:被感染的组织结构受到破坏而不受抑制地增生。希波克拉底和加伦设想,癌是通过害病静脉而蔓延滋长的,害病静脉看上去像是弯曲而张开的螃蟹的爪子,所以将这类疾病命名为**癌**(拉丁文"螃蟹")。

瘤(源自拉丁文"生长")与癌并不同义。瘤可以指疣、痣等称为**良性瘤**的无害增生;也可以指各种癌即**恶性瘤**。癌症通常依害病组织给予不同的命名。最常见的是**皮肤癌**和**肠癌**;结缔组织的癌叫做**肉瘤**;以及**肝癌**、**腺瘤**、**白血病**(又名**血癌**)等等。

德国人菲尔绍是第一个用显微镜研究癌组织的人。他认为癌症是由外界环境的刺激和震扰引起的。这是一种很自然的想法,因为癌症通常发生在与外界环境接触最多的部位。但是,当病原菌学说盛行后,病理学家开始寻找引起癌症的微生物。(菲尔绍坚持反对病菌学说,顽固地坚持刺激学说。当最终证明病菌学说即将获胜时,他放弃了病理学转而研究考古学和政治学。历史上像菲尔绍那样对错误观念激烈地坚持到底的科学家是极少的。)

如果过去认为菲尔绍坚持错误理论的话,那么现在可以说他从事的是一项正确的事业,越来越多的证据说明,某些环境特别容易诱发癌。18 世纪人们就发现烟囱清洁工比其他人容易得阴囊癌。在煤焦油染料发明后,在染料工人中,皮肤癌或膀胱癌的发病

率也比一般人高。由此看来，在烟灰及苯胺染料中必定含有可以致癌的物质。1915年，日本两位科学家山极和市川发现，如果在兔子的耳朵上长时期地使用煤焦油的话，煤焦油的某些成分会使兔子长瘤。1930年，英国两位化学家用合成化学品**二苯蒽**（由5个苯环组成1个分子的一种碳氢化合物）诱发动物发生了癌症。二苯蒽并不存于煤焦油之内。但三年之后，有人在煤焦油中找到了一种可以致癌的化学品**苯并芘**（它也含有5个苯环，但与二苯蒽的排列方式不相同）。

到目前为止，人类已经找出一些**致癌物质**，与二苯蒽及苯并芘类似，都是由多个苯环构成的碳氢化合物；有些是与苯胺染料有关的分子。人们之所以对在食物中使用人造色素表示关切，就是因为从长远来看这些色素可能会致癌。

许多生物学家认为，在近两三个世纪中，人类已经把一些新的致癌因素引进了自己生活的环境：煤的用量不断增加；油的大量燃烧（特别是汽油发动机）；在食物中越来越多地使用合成化学品；化妆品等等。当然，最明显的例子是吸烟，吸烟的人肺癌的发病率是相当高的。

辐射效应

高能辐射是环境中的另一个致癌因素。自1895年以来，人类接触辐射的机会不断地增加。1895年11月5日，德国物理学家伦琴进行了一项实验，研究由阴极射线所引起的发光现象。为了更好地观察这一效应，他将实验室弄得很暗。他将阴极射线管装入一个黑色硬纸板盒中，当他启动阴极射线管时，他吃了一惊，因为他瞧见房间对过的物质发出一道闪光。闪光来自一张涂有铂氰化钡（一种发光的化学品）的纸。是不是来自密闭盒中的辐射使纸发的光？伦琴关掉阴极射线管，纸果然不亮了，随后又打开，纸又

亮了。他把纸移到另一间房子里,纸还是发亮。显然,阴极射线管产生了某种足以穿透硬纸板和墙壁的辐射。

由于伦琴不知道它到底是哪一种辐射,于是就简称为**X射线**。其他科学家为纪念伦琴,提议将X射线改名为**伦琴射线**。但是除德国人外,人们感到德文的"伦琴射线"很难念,于是仍然继续使用X射线。现在,我们已经知道,构成阴极射线的高速电子撞上金属障碍物后,速度会急剧减慢。这样损失的动能转换成的辐射就叫做**制动辐射**。X射线就是这种辐射的一个例子。

X射线使物理学发生了一场革命:它引起了物理学家们的想象,掀起了一阵实验的台风,使人们在几个月内就发现了放射性,并揭开了原子内部结构的秘密。1901年,首次颁发诺贝尔奖时,伦琴成为物理学奖的第一位得主。

X射线还引起了其他事情,它使人类暴露于大量的高能辐射之下,这在过去是从未有过的。伦琴发现X射线的消息传到美国后的第四天,X射线就被用来确定病人腿部子弹的位置。X射线是探查身体内部的奇妙工具,它很容易穿透主要由低原子量元素组成的软组织,但容易被如组成骨骼的原子量较高的元素所阻挡(骨骼主要由磷和钙组成)。所以,若在人体后面置一感光底片,则白云状区域就是骨骼所在,相比之下,黑暗区域是软组织,因为软组织通过的X射线强度大。铅制子弹呈纯白色,因为它把X射线全部阻挡住了。

X射线对显示骨折、钙化的关节、牙洞、体内异物等是非常有用的。但是只要我们将不溶解的重元素盐类送到软组织中,我们也可以非常容易地确定软组织的状况。例如,吞食硫酸钡可以知道胃及肠的状况;注入血液中的碘化物将传送到肾及输尿管,从而知道肾及输尿管的状况,因为碘是高原子量元素,X射线透不过去。

甚至在伦琴发现X射线之前,丹麦医生芬森就已经发现高能辐射可以杀死微生物。他利用紫外线杀死引起**寻常狼疮**(一种皮肤病)的细菌,因而获得1903年诺贝尔医学与生理学奖。后来证明X射线比紫外线的杀伤力强得多。X射线不仅可以杀死癣菌,也能使人体的细胞受损或死亡,而最终可以用来杀死手术刀无法切除的癌细胞。

人们通过无情的事实还发现,高能辐射会引起癌症。早期处理X射线或放射性物质的人中至少有100人死于癌,最早死亡的例子发生在1902年。事实上,居里夫人及其女儿I.约里奥-居里都是死于白血病(血癌),因此,人们容易相信辐射是她们患血癌的主要原因。1928年,英国医生芬德利发现,即使是紫外线辐射,它的量也足以引起小白鼠的皮肤癌。

人们确实有理由怀疑,人类越来越多地暴露于高能辐射之下(通过X光透视、核试验等方式),是癌发病率增大的原因之一。

诱发剂与致癌基因

各种致癌物质(化学品、辐射等)有何共同之处呢?一个合理的想法是,所有的致癌物质都可以引起基因突变,而癌可能是身体细胞突变的结果。1914年德国动物学家博韦里首先提出这种观点。

果真如此的话,我们可以进一步设想:因为基因改变,因而不再合成在控制细胞生长的过程中所需要的一种关键性的酶。当带缺陷的细胞分裂时这种缺陷也会传下去。由于控制机制失灵,这些细胞将不顾整个身体的需要,甚至不顾其所在组织的需要(如某个器官细胞的特化作用)而无限地分裂下去。这个组织就会紊乱,打个比方来说,就会在体内形成无政府状态。

高能辐射能够诱发突变已是确定无疑。化学致癌物质又如何

呢？化学品可以引起突变也已被证实，**氮芥类**就是一个明显的例子。这类化合物，像第一次世界大战中使用的芥子气，能够使皮肤产生类似 X 射线照射后引起的灼伤及水泡，也能够损害皮肤细胞的染色体而增加突变率。除芥子气外，还发现一些化合物能够造成与高能辐射相似的结果。

可以引起基因突变的物质叫做**诱发剂**。诱发剂并非都会致癌，致癌物质也不一定都是诱发剂。但是已经发现的既是致癌物质又是诱发剂的化合物足以使人们怀疑，它们之间的关系绝不是偶然的。

从 1960 年起，科学家就开始比较瘤细胞与正常细胞，寻找染色体中的非随意改变。当人鼠杂种细胞合成技术发明以后，确实找到了这种改变，而且可以更准确地确定这种改变的位置。这种杂种细胞中含人的染色体很少，假若怀疑其中有一个会引起肿瘤的话，就可以将这个杂种细胞注入小白鼠体内看能否引起肿瘤。

1978 年，在 R.A.温伯格领导下，麻省理工学院的一组科学家进一步实验，将癌变归咎于这种染色体的一个单基因。他们将这种单基因移入小白鼠体内，成功地使小白鼠长了瘤。这些基因叫做**致癌基因**。

科学家发现致癌基因与正常基因非常相似，实际上，在整条基因链上可能只有一个氨基酸不同，因此，他们提出**原致癌基因**的设想。原致癌基因是细胞中存在的正常基因，随着细胞分裂一代一代地传下去，由于某些不同的影响，随时可能发生一些小的改变，而成为活跃的致癌基因。也许有人会问：既然原致癌基因潜在的危害如此之大，为何细胞还要拥有它呢？直到目前为止，我们还没有找到答案，但是我们对这个问题至少已经有了新的研究和解决的方向，而这本身就是一件了不起的事情。

病毒学说

在探索致癌基因的同时,微生物可能与癌有关的观念远未消失。由于病毒的发现,使巴斯德时代的病菌学说再度复活。1903年,法国细菌学家博雷尔提出:癌可能是一种病毒疾病。1908年,两位丹麦科学家埃勒曼和班证明:家禽的白血病的确是由一种病毒引起的。然而当时人们不知道白血病就是一种癌,所以没有注意这项实验结果。可是1909年,美国医生F.P.劳斯将鸡的肿瘤研碎过滤,再将澄清的滤液注射到其他鸡的身上,结果有些鸡长出了肿瘤。过滤得越细,肿瘤长得越少。看来似乎可以肯定,滤液中有某种颗粒可以诱发肿瘤,而这些颗粒的大小似乎与病毒的大小相同。

肿瘤病毒有着一段曲折的经历。起初,被认为由病毒引起的肿瘤后来证明都是良性的。例如,曾证明病毒可以引起像兔子乳头瘤(类似于疣)一类的肿瘤。1936年,在缅因巴港著名的育鼠实验室工作的比特纳发现了一件更为有趣的事情:同一实验室的斯莱培育的小白鼠品系,有些似乎具有天生的抗癌能力,而另一些品系似乎具有易患癌的倾向。有些品系的小白鼠很少长癌,而另一些品系的小白鼠长大之后几乎必定得癌。比特纳试将二者新生的幼鼠交换哺乳,发现"抗癌"品系的幼鼠接受"易患癌"品系母鼠的哺乳后,大都患癌;与此相反,正如推测的那样,"易患癌"品系的幼鼠接受"抗癌"品系母鼠的哺乳后却不长癌。比特纳的结论是,不管癌发生的原因是什么,癌不是天生的,而是经由母乳传给的。他把这种物质称为**乳因子**。

人们自然会怀疑比特纳所谓的乳因子就是病毒。哥伦比亚大学的生物化学家S.格拉夫终于证明,乳因子是一种含有核酸的微粒。后来又发现了造成数种小白鼠肿瘤及动物白血病的肿瘤病

毒,这些病毒都含有核酸。但直到目前为止,我们尚未找到任何与人类癌症有关的病毒,对人类癌症的研究显然是非常有限的。

现在突变学说与病毒学说开始趋于一致,也许两种观念之间的矛盾根本就不是矛盾。病毒和基因在结构上非常相似;有些病毒侵入细胞后可以成为细胞常备设备的一部分,而且可以起致癌基因的作用。

诚然,人的基因都含有 DNA,而肿瘤病毒似乎总是含有 RNA。长久以来人们理所当然地认为,信息总是从 DNA 传给 RNA,因此很难想象肿瘤病毒怎么会起基因的作用。不过目前人们已经知道,有时候 RNA 可以促使产生带有 RNA 式核苷酸的 DNA。因此,肿瘤病毒可能不是致癌基因,但可以合成致癌基因。

就此而言,病毒可能不是直接地进攻,病毒可能只是在促使原致癌基因转变为致癌基因方面起着重要作用。直到 1966 年,病毒学说才被认为是一项值得颁发诺贝尔奖的成果。值得庆幸的是,55 年前获得这项发现的 F.P.劳斯当时还活着,并领取了 1966 年诺贝尔医学与生理学奖。(劳斯 1970 年去世,享年 90 岁,在快要去世之前还积极从事研究。)

可能的治疗

新陈代谢机制究竟出了什么毛病而使细胞无限制地生长呢?这个问题尚未得到答案。有些激素,特别是性激素是人们怀疑的重点之一。

首先,人们知道,性激素能刺激身体的某一部分(如青春期女子的乳房),使之快速生长;再者,性器官组织(如女性的乳房、子宫颈、卵巢和男性的睾丸和前列腺)特别容易患癌。而最有力的是化学上的证据,1933 年,德国生物化学家维兰德(因研究胆酸而获得 1927 年诺贝尔化学奖)设法将一种胆酸转变成一种叫做**甲基胆蒽**

的复杂的碳氢化合物(一种很强的致癌物质)。现在已经知道甲基胆蒽(同胆酸一样)具有类固醇的四环结构,而所有性激素恰巧都是类固醇。畸形的性激素分子会不会起致癌物质的作用呢?或者,打个比方说,细胞中反常的基因会不会将正常形成的激素误认为致癌物质而刺激细胞不受制约地生长呢?人们都可以猜想,这些猜想是很有趣的。

令人奇怪的是,改变性激素的供应有时可以阻止癌的生长。例如,对患有前列腺癌的男子使用具有中和作用的雌性激素或切去其生殖腺,病情就会缓和下来。作为一种治疗方法,这不值得大惊小怪,因为这是对癌被迫采取的一种不得已的措施。

到目前为止,治疗癌的主要方法仍然是手术,而且手术的局限性仍然同以前一样:有时癌块切下来了病人也死了,手术刀往往漏掉癌组织的碎片(因为紊乱的癌组织具有易碎的倾向),随后这些碎片被血液带到身体的其他部分,并在那里扎根生长。

利用高能辐射杀死癌组织的方法也有很多缺点。除传统的X射线和镭外,感生放射性又增添了新的武器,其中之一是钴-60,它能产生高能γ射线,并且比使用镭便宜得多;另一个解决办法是放射性碘,它集中于甲状腺,因此可以治疗甲状腺癌。但是人体对辐射的忍受是有限度的,辐射阻止的癌反而不如它引起的其他癌多,这种危险一直存在着。

最近10年来,各方面知识不断累积,使人们找出一些更温和、更精密、更有效的方法的希望大为增加。

例如,假若病毒以某种方式参与癌的发生的话,那么任何可以抑制病毒作用的物质就应该减少癌的发病率或阻止已发生的癌生长。在这类物质中,可能性最大的是干扰素。现在纯干扰素可以大量得到,而且已经在癌病患者身上试用。到目前为止没有明显地成功,原因可能是这种方法正处于试验阶段;试用的病人患病已

久,也可能是无药可治了;当然,也可能是使用这种方法的窍门尚未找到。

另一种方法是这样的:致癌基因与正常基因的差别如此小,人们似乎有理由认为致癌基因时常发生,而且癌细胞的产生比人们所想象的要平常得多。这种细胞在某些方面必定会与正常细胞不同,大概人体免疫系统可以及早辨认出它进而将它消灭。如此说来,癌的产生不是表示癌细胞已经形成,而是表示已形成的癌细胞未被消灭。癌或许是免疫系统失灵造成的,这种情况在某种程度上与自身免疫病的情形相反,自身免疫病是免疫系统工作效率太高造成的。

癌的预防与治疗可能有赖于我们对免疫系统工作方式的了解。或者,在做到这一点之前,我们或许可以使用能够区别正常细胞与癌细胞的化合物来帮助人体达到抗癌的目的。

例如,有些植物会产生某些物质,这些物质会与某些糖类反应,正如抗体与蛋白质反应一样。(至于植物产生这些可以识别糖的物质的目的尚未查明。)

包围着细胞的细胞膜是由多种蛋白质与脂质构成的,但是这些蛋白质往往将某些相当复杂的糖分子合并到自己的结构中去。正因为细胞膜里糖的性质不同,所以在某些条件下可以使某些血型的血球发生凝集现象;在另一些条件下,可以使另一些血型的血球发生凝集现象,利用这个特性可以将血液区分为几种不同的血型。

美国生物化学家博伊德想知道是否有能够区别血型的植物物质。1954 年,他首先以利马豆(大白豆)为实验材料,使他惊奇的是,他在大白豆中找到了这种物质。他将这种物质命名为**外源凝集素**(源自拉丁文"选择")。

如果外源凝集素能够根据表面化学的细微差别在一种或另一

种红血球之间进行选择的话，那么可能会发现某些外源凝集素能够区别肿瘤细胞与其原有的正常细胞，因为这些外源凝集素凝集肿瘤细胞而不凝集正常细胞。因此，这些外源凝集素可能会使肿瘤细胞失去作用，从而减低或阻止癌的生长。一些初步的研究已取得令人乐观的成果。

总之，我们对致癌基因及其产生的方式了解得越多，则学会预防致癌基因产生或促使其消灭的方法的可能性也就越大。

可是，在此期间，对癌的恐惧以及明显的医治无望，经常使人们想试用一些假科学的药物。将要淹死的人想捞稻草救命，这是无可指责的，但是迄今为止，这些药物从未有过效验，而且有时还妨碍病人寻求更有希望的疗法。

（高秀英　译）

第十五章　人　体

食　物

或许医学科学的第一个重大进展，就是医生们认识到健康需要简单而平衡的饮食。希腊哲学家劝告饮食要适度，不仅出于哲学上的理由，而且因为凡是这样做的人都生活得更舒适，寿命也更长。这是一个良好的开端，但生物学家们终于认识到，单靠饮食适度是不够的。即使一个人生活富裕，不会挨饿，而且能够适度节制，不暴食暴饮，但如果碰巧在他的饮食中缺少某些必要的成分，他仍会不健康。对于世界上一些地区的许多人来说，正是这种情况。

人体在饮食的需要上是非常特殊的。植物只靠二氧化碳、水和某些无机离子就可以生存。有些微生物不需要任何有机食物同样也能存活，因此人们称它们为**自养生物**，就是说它们能够在没有其他生物的环境中生长。面包霉菌(**脉孢菌**)就开始有点复杂了，除了无机物质外，还必须要有糖和一种叫做生物素的维生素。而且生命形态变得越复杂，似乎越要依赖它们的饮食为建造活组织提供所必需的有机构件，原因就是它们失去了原始生物所具有的一些酶。绿色植物可以提供全套的酶，把无机原料制造成全部必需的氨基酸、蛋白质、脂肪和碳水化合物。**脉孢菌**拥有除制造糖和

生物素所需要的几种酶以外的所有的酶。人体中缺少制造多种氨基酸、维生素和各种其他必要物质所需要的酶，因此必须从食物中摄取现成的。

这看起来似乎是一种退化——越来越依赖于环境使生物处于一种不利的地位。其实并非如此。如果环境能够提供构件的话，细胞何必还携带着制造这些构件所需要的复杂的酶机器呢？去掉这种机器，细胞就可以把它的能量和空间用于更精细和更特殊的目的。

人（或其他动物）要得到他们所需要的食物，就必须依赖摄取其他生物。食物正是由这些生物的有机成分构成的。在食者的肠内，食物里的小分子可以被直接吸收；淀粉、蛋白质等大分子通过酶的作用被分解（即**被消化**）成碎片（氨基酸、葡萄糖等）再被吸收。在食者的体内，这些碎片被进一步分解以产生能量，或重新合成食者而不是食物所特有的大分子。在某种意义上，动物的生命过程就是一种不停的强行掠取。

有些动物是**食肉动物**，它们只吃其他动物。如果所有的动物都是食肉动物，动物的生命就不会维持长久，因为食物的能量和组织成分转换给食者的效率非常低。根据实际的经验，要维持食者1公斤的体重需要消耗10公斤的食物。

有些动物是**食草动物**，它们吃草。植物比动物普遍得多，因此食草动物的总量远远大于食肉动物，能够很好地维持食肉动物的生存。（有些动物，如人、熊和猪等，是**杂食动物**，它们既吃植物也吃动物。）

把植物的能量和组织成分转换给吃植物的动物，效率也是非常低的，因此，如果植物自我更新的速度赶不上它们被食用的速度，生命很快就会荡然无存。植物是利用太阳能在光合作用过程中进行自我更新的（见第十二章）。通过这种途径，植物可以依靠

无机物生存,而且实际上使所有的生命维持下去。在植物存在以来的整个时期,一直是这样进行的。

的确,光合作用比动物消化食物的过程效率还要低。据估计,所有到达地球的太阳能被植物截获并转换成组织的不到1/1 000,但是这仍然足以使全世界每年生产1 500亿～2 000亿吨干的有机物。当然,只要太阳基本上维持目前的状况,这一过程在地球上就只能以目前的形式持续下去,这将是几十亿年的事情。

有机食物

如果摄取食物只是为了获得能量,我们实际上并不需要很多食物。对于我这个坐着工作的人来说,227克黄油就可以提供我一天所需要的全部能量。但是,食物不单是提供能量,而且还是修补和重建我的组织所需要的构件的一个来源。这些需要修补和重建的组织在许多不同的地方都有,单靠黄油不能提供这些方面的需要。

英国医生蒲劳脱首先提出有机食物可以分成三类,后来被命名为**碳水化合物**、**脂肪**和**蛋白质**。(就是这个蒲劳脱提出,所有的元素都是由氢组成的,比他的时代超前了一个世纪。)

19世纪的化学家和生物学家,尤其是德国的李比希,逐渐弄清了这些食物的营养价值。他们发现,蛋白质是最重要的,生物单靠蛋白质就能存活。人体不能用碳水化合物和脂肪制造蛋白质,因为这些物质不含氮,但是它能够利用蛋白质提供的原料制造必要的碳水化合物和脂肪。但是,如果靠全蛋白食物生活的话,就会造成浪费,因为环境中的蛋白质是比较稀少的。那样做就好像本来有劈柴可用却要用家具生火一样。

在整个历史上,甚至今天在世界的许多地区,人们很难得到足够的食物。不论是灾荒歉收,还是分配不当;也不论是体力上的还

是经济上的原因,反正总是有人得不到食物或买不起食物。

有时即使看上去有足够的食物可供食用,但蛋白质的含量太低,因此虽然不是广义上的营养不足,也是营养不良。儿童特别容易患蛋白质缺乏症,因为他们需要蛋白质不仅是为了替换,而且是为了建造新的组织,为了生长。在非洲,这种蛋白质缺乏症在儿童中特别普遍,因为他们只是吃一种单调的玉米面食物。(任何单调的食物都是危险的,因为含有人们所需要的各种养分的食物是没有的。吃的食物种类要多,这样才安全。)

总是有少数人饮食不加节制,因此摄取的各种养分超过了身体的需要。人体将多余的养分变成脂肪储存起来(这是把热量储存在尽可能小的空间里的最经济的办法)。这种储存有许多用途,例如储存的热量可以帮助度过缺乏食物的期间。但是,如果没有这种缺乏食物的期间,脂肪就会保留下来,人体就会超重甚至肥胖。这种情况是有害的,它会使人感到不适,而且还经常伴随着发生机能衰退和代谢方面的疾病,如糖尿病、动脉粥样硬化等。(如果一个人的饮食不平衡,即使体重超重,也不能保证不缺乏所必需的营养。)避免肥胖的惟一合理的方法,就是减少饮食量或增加活动量(或者两者同时进行)。两者都不肯做的人只能保持超重,尝试任何其他方法都不会奏效。

蛋白质

总的来说,高蛋白食物通常比低蛋白食物价格高,而且供应短缺(这两个特点一般同时存在),并且,动物食物通常比植物食物蛋白质含量高。

这就给食素主义者提出一个问题。尽管食素主义者有自己的观点,但实行食素主义的人要确保他们保持适当的蛋白质摄取量就必须多费点事。这是可以办到的,因为一般成人每天只要摄取

57 克蛋白质就够了，儿童、孕妇及喂奶的母亲需要的多一些。

当然，这在很大程度上要看你选取的是什么样的蛋白质。19 世纪的实验者企图发现，在饥荒时人们是否可以靠白明胶生活。白明胶是通过加热骨头、腱和用别的方法无法食用的动物的其他部分而得到的一种蛋白质。但是法国生理学家马让迪证明，当白明胶是狗的蛋白质的惟一来源时，狗就会减少体重而死亡。这并不是说用白明胶作食物有什么不好，而只是说当白明胶是食物中的惟一蛋白质时，它不能提供所有必需的构件。这再一次说明，食用多种食物才安全。

蛋白质的效用取决于身体对蛋白质所提供的氮的利用效率。1854 年，英国农学家 J.B. 劳斯和吉尔伯特用小扁豆粗粉和大麦粗粉两种形式的蛋白质喂猪。他们发现，猪体内保留大麦中的氮比小扁豆中的氮多得多。这些是最早的**氮平衡**实验。

生长中的动物从它摄取的食物中逐渐积累氮(**正氮平衡**)。如果它在挨饿，或患了消耗性疾病，而白明胶又是惟一的蛋白质来源，那么，从氮平衡的观点来看，身体就会继续饥饿或消耗下去(这种情形叫做**负氮平衡**)。不管喂它多少白明胶，它也总是保持失去的氮多于摄入的氮。

为什么会这样呢？19 世纪的化学家们终于发现，白明胶是一种非常简单的蛋白质。它缺少大部分蛋白质中所含有的色氨酸和其他一些氨基酸。没有这些构件，身体就不能为其自身组织建造所需要的蛋白质。因此，除非身体还能从食物中得到其他蛋白质，否则白明胶里产生的氨基酸就毫无用处，因而不得不被排泄掉。这就好像盖房子的人发现他们有很多木材却没有钉子一样。他们不仅盖不成房子，而且这些木材也只好堆在一旁而最终被处理掉。19 世纪 90 年代，人们试图往白明胶里加入它所缺少的一些氨基酸，使它成为一种比较有效的食物，但这些尝试都没有成功。使用

不像白明胶那样简单的蛋白质则取得比较好的结果。

1906 年,英国生物化学家霍普金斯和威尔科克用在玉米中发现的**玉米醇溶蛋白**作为小白鼠食物中的惟一蛋白质。他们知道这种蛋白质含色氨酸极少。大约过了 14 天,小白鼠就死了。(缺少色氨酸是蛋白质缺乏症**夸希奥科病**的主要原因,这种病在非洲儿童中非常普遍。)然后,他们在玉米醇溶蛋白中加上色氨酸,再来喂小白鼠,这一次小白鼠存活的时间延长了一倍。这第一次确凿地证明,食物中不可缺少的成分是氨基酸,而不是蛋白质。(虽然小白鼠仍然死得过早,这大概主要是因为缺少当时还不知道的某些维生素。)

在 19 世纪 30 年代,美国营养学家 W.C. 罗斯彻底弄清了氨基酸的问题。当时主要的维生素都已经知道了,所以他可以给动物提供一些必需的维生素,并把注意力集中在氨基酸上。罗斯不用蛋白质而用氨基酸的混合物喂大白鼠,结果靠这种食物大白鼠活不了多久。但是,当他用牛奶蛋白质酪蛋白喂大白鼠时,大白鼠活得很好。显然,酪蛋白中含有某种东西是他所使用的氨基酸混合物中所没有的,这种东西很可能是某种未发现的氨基酸。罗斯将酪蛋白分解,然后试着往他的氨基酸混合物里加入酪蛋白的各种分子片段。用这种方法他找到了**苏氨酸**。这是人们发现的最后一种主要氨基酸。当他把从酪蛋白中得到的苏氨酸加入他的氨基酸混合物中,再来喂大白鼠时,尽管食物中没有任何完整的蛋白质,大白鼠仍生长良好。

罗斯进而从大白鼠的食物里每次去掉一种氨基酸。用这种方法他终于识别出大白鼠食物里 10 种不可缺少的氨基酸:赖氨酸、色氨酸、组氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苏氨酸、甲硫氨酸、缬氨酸和精氨酸。只要这些氨基酸足量供给,大白鼠就能够制造出所有它所需要的其他氨基酸,如甘氨酸、脯氨酸、天门冬氨酸、丙

氨酸等。

20 世纪 40 年代,罗斯把注意力转移到人对氨基酸的需要上。他说服一些研究生接受经过控制的膳食,在这些膳食中氨基酸的混合物是氮的惟一来源。到 1949 年,他已经能够宣告,成年男子的膳食中只需要 8 种氨基酸:苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、缬氨酸、赖氨酸、色氨酸和苏氨酸。由于精氨酸和组氨酸对大白鼠是必不可少的,但在人的膳食中却没有必要,所以看起来在这一方面人不如大白鼠特化,实际上也不如已经详细实验过的任何其他哺乳动物特化。

很可能一个人靠膳食中必需的这 8 种氨基酸就可以生活;只要这些氨基酸足量供给,他就不仅能够制造出他所需要的所有其他氨基酸,而且能够制造出所有的碳水化合物和脂肪。实际上,仅由氨基酸组成的食物,价格会非常昂贵,更不要说这种食物是多么平淡无味了。但是,对我们所需要的氨基酸有一个完整的蓝图是很有帮助的,这样,当有必要最大效率地吸收和利用氮时,我们就能够加强天然蛋白质的供给。

脂肪

脂肪同样也可以分解成比较简单的构件,其中主要是脂肪酸。脂肪酸可以分为**饱和**和**不饱和**两种。饱和脂肪酸分子含有所有它们能够携带的氢原子;不饱和脂肪酸分子缺少一对或多对氢原子。如果缺少一对以上的氢原子,则称作**多不饱和脂肪酸**。

含不饱和脂肪酸的脂肪通常比含饱和脂肪酸的脂肪熔点低。在生物体内,脂肪以液态为宜;因此,植物和冷血动物的脂肪往往比鸟和哺乳动物等温血动物的脂肪含有较多的不饱和脂肪酸。人体不能利用饱和脂肪制造多不饱和脂肪,因此,多不饱和脂肪酸是**必需脂肪酸**。在这一方面,食素主义者是有利的,他们患缺乏症的

可能性更小。

维　生　素

不幸的是，甚至在近来一些开明的时代，对食物的狂热和迷信仍在欺骗着许多人，并冒出了许多医治百病的畅销品。实际上，可能正是因为这些时代开明，才使对食物的狂热时尚成为可能。在人类历史的大部分时期，人们都是附近地区生产什么就吃什么，而且通常并不丰富。他们必须有什么就吃什么，否则就得挨饿；谁也不能挑剔食物，而没有挑剔就不可能有对食物的狂热时尚。

现代运输能够把食物从地球的某一地区运送到任一其他地区，特别是采用了大规模的冷冻技术以后，更减少了饥荒的威胁。在现代以前，饥荒总在部分地区发生，邻近地区虽然能够提供食物，却无法运送到灾区。

人类早就学会用干燥、腌制、糖渍和发酵等方法来保存食物，从那时起便在家中储藏各种食物。当在真空中储藏烹调好的食物的方法发明以后，就能够把食物保存得接近原来的状态。（烹调可以杀死微生物，而真空可以防止其他微生物生长和繁殖。）第一个应用真空储藏法的是法国厨师阿佩尔。他发明这项技术是为了赢得拿破仑一世为寻求一种为军队保存食物的方法而设立的奖赏。阿佩尔使用的是玻璃罐，现今使用的是镀锡的钢罐。自从第二次世界大战以来，冰冻的新鲜食物越来越受到人们的喜爱。家用冰箱的数目也不断增加，使新鲜食物更加普遍，种类也更多。

营养缺乏病

所有这些并不是说精心选择食物不一定有用，一些特定的食物确实能治疗特殊的疾病，的确有一些这样的事例。每种病例都是营养缺乏病，在食物甚至蛋白质充足时发生的一些病症，这些病是由于食物中缺少人体的化学机器所必需的一些微量物质造成的，然而这些微量的物质在食物中是没有的。当一个人得不到正常而平衡的膳食（含有多种食物）时，几乎必定会得这种缺乏病。

诚然，在 19 世纪及以前，平衡而多样化膳食的价值就已经为许多医生所理解。当时关于食物的化学仍然是一种奥秘。一个著名的例子就是克里米亚战争中英勇的英国护士南丁格尔，她首先在良好护理的同时，给伤员以适当的饮食。但是，一直等到 19 世纪末，发现食物中含有生命必不可少的微量物质以后，才有了**膳食学**（对膳食的系统研究）。

古代人对**坏血病**非常熟悉。患这种病的人毛细血管越来越脆，牙龈出血，牙齿松动，伤口很难愈合，病人逐渐衰弱，终致死亡。在被围困的城市和长期航海中，这种病特别盛行。（这种病最早出现在 1497 年绕非洲到印度航行的**伽马号**船上；22 年后第一次环球航行的麦哲伦船队的船员们，患坏血病的人多于患一般营养不足的人。）远航的船只，由于缺乏冷藏技术，必须携带不会腐败的食物，也就是硬饼干和咸猪肉。尽管如此，许多世纪以来，医生们没有把坏血病与膳食联系起来。

1536 年，法国探险家卡蒂埃在加拿大过冬期间，他的随员中有 110 人患了坏血病。土著印第安人知道后，提出一种治疗办法：饮用松针浸泡过的水。卡蒂埃的随员在绝望中采用了这种好像很幼稚的建议，结果治好了他们的坏血病。

两个世纪以后，1747 年，苏格兰医生 J. 林德注意到了一些这样的病例，并用新鲜的水果和蔬菜试着进行治疗。用他的方法对

患坏血病的水手进行实验，他发现，橘子和柠檬见效最快。J. 库克船长在1772—1775年横渡太平洋的探险航行中，强迫他的船员经常吃泡菜，因而使他们没有发生坏血病。可是，直到1795年，英国海军的高级将领们才对J. 林德的实验(以及闹坏血病的舰队没有什么战斗力会使海战失败的事实)有了充分的印象，因而命令英国水手每天都要喝定量的酸橙汁。由于喝了酸橙汁，坏血病从英国海军中消失了。

一个世纪以后，1884年，日本海军将领高木兼宽也采用了类似的办法。他让他的船队把单调的大米饭改为多样的膳食，结果结束了日军海军中一种叫做**脚气病**的灾祸性疾病。

尽管有这种偶尔用饮食治疗成功的事例(当时谁也讲不出道理)，但是19世纪的生物学家不肯相信饮食能够治病，特别是在巴斯德关于疾病的细菌学说盛行起来以后。可是，1896年，一位叫艾克曼的荷兰医生几乎是违背自己意愿地说服了他们。

艾克曼被派到当时荷属的东印度去研究脚气病，在那些地区脚气病是一种流行病(即使在今天，尽管医学已经知道了脚气病的原因和治疗方法，每年仍有100 000人死于这种病)。高木兼宽用膳食的方法制止了脚气病，但是西方人显然没有重视，他们可能认为这只是东方神秘的经验知识。

艾克曼假定脚气病是一种由细菌引起的疾病，他用鸡作为实验动物来确定这种细菌。一件非常幸运的欺骗行为打破了他的计划。在没有预兆的情况下，他喂的鸡大部分都得了一种麻痹症，有一些因而死亡；但是大约4个月以后，存活下来的鸡又恢复了健康。艾克曼因为没有找到引起这场病害的细菌而感到迷惑，最后他调查了鸡的饲料。他发现，原来负责喂鸡的那个人为了节省(无疑从中得利)，用剩余的饭菜当饲料，这些大部分都是军事医院病房扔掉的白米饭。碰巧，几个月后，一个新厨师到任，接替了喂鸡

的工作;他没有那种小偷行为,而用正常的鸡饲料(带壳的稻谷)喂鸡,所以后来鸡又复原了。

艾克曼对此进行实验。他用白米喂鸡,鸡病了;他又用稻谷喂鸡,鸡恢复过来了。这是第一次故意造成的营养缺乏病。艾克曼断定,鸡的这种**多神经炎**和人的脚气病的症状相似,难道人得脚气病是因为只吃白米的缘故吗?

稻谷去壳主要是为了更好地保存,以便人们食用,因为壳上含有油,很容易腐败,同时去壳时把稻谷上的细菌也就一起去掉了。艾克曼和他的同事格里津斯着手研究究竟是稻壳里的什么物质防止了脚气病。他们用水成功地从稻壳中溶解出这种关键性的因子,并发现这种物质可以通过蛋白质不能通过的膜,显然这种物质一定是一种非常小的分子。可是,当时他们却鉴定不出究竟是一种什么物质。

与此同时,其他研究者也发现了一些似乎是生命所必不可少的神秘因子。1905 年,荷兰营养学家帕克尔哈林发现,他用人造食物喂养的小白鼠在一个月内全部死去,就脂肪、碳水化合物和蛋白质来说,人造食物的含量好像是足够的。但是,当他往这种食物里加入几滴牛奶以后,小白鼠活得很好。而在英国,正在证明膳食中氨基酸的重要性的生物化学家霍普金斯,进行了一系列的实验。他也证明,如果把牛奶加入人造食物中去,牛奶酪蛋白中的某种物质可以维持动物的生长。这种物质溶于水。作为膳食的辅助物,少量的酵母提取物比酪蛋白效果更好。

由于他们的开创性的工作,确定了膳食中的微量物质,这些物质是生命所必不可少的,艾克曼和霍普金斯分享了 1929 年的诺贝尔医学与生理学奖。

分离维生素

下一个任务就是分离食物中这些重要的微量因子。到 1912 年,三位日本生物化学家铃木、岛村和大岳已经从稻壳中提取了一种化合物。这种化合物治疗脚气病非常有效,5～10 毫克的剂量就足以治好鸡的病。同一年,波兰出生的生物化学家冯克(当时在英国工作,后来到了美国)从酵母中制备了同样的化合物。

因为这种化合物被证明是一种胺(即含有胺基 NH_2),所以冯克称之为**维生素**(由拉丁语“生命”和“胺”二字组成,过去音译为“维他命”,现统一译为“维生素”)。冯克猜想,脚气病、坏血病、糙皮病和佝偻病都是由缺乏“维生素”引起的。就他把这些病确认为是营养缺乏症来说,冯克的猜想是正确的。但是,后来证明,并非所有的“维生素”都是胺。

1913 年,两位美国生物化学家麦科勒姆和 M. 戴维斯在奶油和蛋黄中发现了另一种对健康非常重要的微量因子,这种因子溶于脂肪性物质而不溶于水。麦科勒姆把这种因子称之为**脂溶性物** A,而把抗脚气病的因子称之为**水溶性物** B。在不了解有关这些物质性质的化学组成的情况下,这种做法好像还是很不错的,而由此便开始了用字母命名维生素的习惯。1920 年,英国生物化学家德拉蒙德将这两个名字分别改为**维生素** A 和**维生素** B。他还提出,抗坏血病因子是第三种这类物质,他命名为**维生素** C。

维生素 A 很快就被证认为是防止**干眼病**(眼球周围的膜不正常的干燥)所需要的一种食物因子。1920 年,麦科勒姆和他的同事们发现,鳕鱼肝油中有一种物质可以专门用来治疗**佝偻病**(治疗干眼病和佝偻病都有效)。他们断定,抗佝偻病因子一定是第四种维生素,他们命名为**维生素** D。维生素 D 和维生素 A 是脂溶性的,维生素 C 和维生素 B 是水溶性的。

到 1930 年,人们已经弄清楚,维生素 B 并不是一种简单的物

质，而是具有不同性质的化合物的混合物。治疗脚气病的食物因子被命名为**维生素** B_1，第二个因子被命名为**维生素** B_2，如此等等。有些新因子的报告后来证明是假的，所以后来人们就听不到 B_3、B_4 和 B_5 了，但是数字一直用到了 B_{14}。这一整组维生素（全部是水溶性的）常被称作**维生素 B 复合物**（或**复合维生素** B）。

新的字母也增加了，其中，**维生素** E 和 K（两者都是脂溶性的）是真正的维生素；但**维生素** F 被证明不是维生素；而**维生素** H 被证明是维生素 B 复合物的一种成分。

现今，由于已经鉴别出了它们的化学组成，即使真正的维生素也正在抛弃它们的字母名称，大多数都用它们的化学名称。但是，由于某种理由，脂溶性维生素比水溶性维生素更顽强地保持着它们的字母名称。

化学组成和结构

要弄清维生素的组成和结构不是一件容易的事情，因为这些物质仅以微量出现。例如，1 吨稻壳中只含有大约 5 克维生素 B_1。直到 1926 年，人们才提取了足量的比较纯的维生素供化学分析。两位荷兰生物化学家 B.C.P. 詹森和多纳思从微量的样品中研究出了维生素 B 的组成，但是后来证明是错误的。1932 年，日本化学家大岳用稍微多一点的样品再次进行尝试，得到了近乎正确的结果。他最先在一个维生素分子中发现了一个硫原子。

最后，1934 年，贝尔电话实验室的化学部主任 R.R. 威廉斯终于达到 20 年研究的顶点。他不畏艰苦，从成吨的稻壳中分离维生素 B_1，直到得到足够的量，从而研究出了一个完整的结构式。这个结构式如下：

```
                                  CH2—CH2—OH
                                 /
                     CH3       C
CH3     N   NH2         \   //   \
   \  //  \  /            C        \
    C      C              |         S
    |      ||             N(+)     /
    N      C               \\     /
     \\  /   \     /          CH
      CH      CH2
```

因为这个分子中最没有预料到的特征就是那个硫原子，所以这种维生素被命名为**硫胺素**。

维生素 C 是另一种不同的问题。柑橘类水果是比较丰富的维生素 C 来源，但是人们很难找到一种实验动物本身不制造维生素 C。除人类和其他灵长类动物外，大多数哺乳动物都保留了形成这种维生素的能力。没有一种能够形成坏血病的便宜而初级的实验动物，要在橘汁化学分解的各种片段中找到维生素 C 的踪迹是困难的。

1918 年，美国生物化学家 B. 科恩和门德尔发现豚鼠不能形成维生素 C，从而解决了这个问题。事实上，豚鼠比人更容易患坏血病。但是还有另一个困难，人们发现维生素 C 非常不稳定(它是最不稳定的一种维生素)，因此，在分离它的化学过程中很容易失去。许多研究人员热心地寻找这种维生素，都未成功。

维生素 C 最后被一个并非特意寻找它的人意外地分离出来了。1928 年，匈牙利出生的生物化学家森特-哲尔吉从洋白菜中分离出一种物质，能够帮助把氢原子从一种化合物传递给另一种化合物。森特-哲尔吉当时在伦敦霍普金斯实验室工作，主要想弄清楚组织是怎样利用氧的。此后不久，当时正在寻找维生素 C 的匹兹堡大学的 C.G. 金和他的同事们，从洋白菜中制备了一些这种物质，发现这种物质能够有效地防止坏血病。此外，他们还发现，这种物质与他们从柠檬汁中得到的晶体相同。1933 年，C.G.

金确定了这种物质的结构，原来是一种有6个碳的糖分子，属于L系而不是D系：

```
          O
        /   \
O═C           CH—CH—CH₂OH
     \       /    |
      C═C         OH
     /     \
   OH       OH
```

它被命名为**抗坏血酸**（源自希腊语，意思是“没有坏血病”）。

至于维生素A，人们观察到富含维生素A的食物通常呈黄色或橙色（奶油、蛋黄、胡萝卜、鱼肝油等），从而得到关于它的结构的第一个提示。人们发现，一种叫**胡萝卜素**的碳氢化合物是形成这种颜色的主要物质。1929年，英国生物化学家T. 穆尔证明，用含有胡萝卜素的食物喂养的大白鼠，肝内存有维生素A。维生素A本身并不是黄色，所以推断胡萝卜素本身不是维生素A，而是肝脏把它转变成维生素A。（胡萝卜素现在被当作**维生素原**的一个例子。）

1937年，美国化学家H.N. 霍姆斯和科比特从鱼肝油中分离出了维生素A的结晶。结果证明维生素A是一种二十碳化合物，即胡萝卜素分子的一半再加上一个羟基：

```
CH₂   CH₃
   \ /
    C              CH₃                  CH₃
   / \             |                    |
CH₂    C—CH═CH—C═CH—CH═CH—C═CH—CH₂—OH
|      ‖
CH₂    C—CH₃
   \  /
   CH₂
```

正在寻找维生素D的化学家们，通过日光找到了最好的化学线索。早在1921年，最先证明维生素D存在的麦科勒姆小组就指出，吃缺乏维生素D食物的大白鼠，如果暴露在阳光下，也不得

佝偻病。生物化学家们猜想，日光的能量把体内的某种维生素原转变成了维生素D。由于维生素D是脂溶性的，所以他们在食物的脂肪物质中去寻找这种维生素原。

把脂肪分解成若干组分，再把每一个组分分别暴露于阳光下，用这种方法他们确定出，由阳光转变成维生素D的维生素原是一种类固醇(甾类化合物)。是什么类固醇？他们检验了胆固醇(体内最常见的一种类固醇)，但不是它。后来，1926年，英国生物化学家罗森海姆和韦伯斯特发现，阳光可以把一种与胆固醇密切相关的固醇转变成维生素D。这种固醇就是**麦角固醇**(因为它最早是从被麦角菌感染的黑麦中分离出来的，所以这样命名)。德国化学家温道斯大约在同一时间也独立地得到这一发现。由于这项工作及对类固醇的其他研究工作，温道斯获得1928年的诺贝尔化学奖。

用麦角固醇制造维生素D的困难在于，动物体内不产生麦角固醇。最后，人体内的这种维生素原被确定为7-**脱氢胆固醇**，和胆固醇的区别在于，它的分子中少两个氢原子。由它形成的维生素D的结构式是这样的：

```
                                  CH3                  CH3
                                   |                    |
                                  CH—CH2—CH2—CH2—CH—CH3
                          CH3    /
                 CH2       |    CH
                /     \    |   /   \
             CH2        \  |  /     \
              |           C           CH2
              |           |          /
        CH2  CH2 CH2      |         /
      /    \  //     \    |        /
   CH2       C        C——CH        /
    |        |        ||     \   CH2
    CH       C        CH
   /   \   /   \\    /
 HO     CH2      CH
```

维生素 D 中有一种叫做**钙化醇**(源自拉丁语,意思是“携带钙”),因为它是骨骼正常生长所不可缺少的。

并不是所有的维生素缺少时都会产生急性病。1922 年,加利福尼亚大学的埃文斯和 K.J. 斯科特含蓄地指出,有一种维生素是动物不育的一个原因。直到 1936 年,埃文斯和他的小组才成功地分离出这种维生素,即维生素 E,后来被命名为**生育酚**(源自希腊语,意思是“生孩子”)。

不幸的是,人类是否需要维生素 E? 需要的量是多少? 这些问题目前还不清楚。显然有意地通过饮食造成不育的实验是不能用在人身上的。即使在动物方面,不喂它们维生素 E 可以使它们不育,这并不一定意味着天生的不育症都是由这种方式引起的。

20 世纪 30 年代,丹麦生物化学家达姆用鸡进行实验,发现一种维生素与血液的凝集有关,他把这种维生素命名为**凝血维生素**,这个名称最后被缩写成**维生素** K。后来圣路易大学的多伊西和他的同事们分离出了维生素 K 并确定了它的结构。达姆和多伊西分享了 1943 年的诺贝尔医学与生理学奖。

维生素 K 不是一种主要维生素,也不构成营养上的问题。在正常的情况下,肠内细菌制造的维生素 K 就足以够用。事实上,它们制造的维生素 K 很多,以至于粪便中的维生素 K 可能比食物中的还要丰富。新生婴儿由于缺乏维生素 K,特别容易发生血液不易凝集从而出血的危险。在卫生设备现代化的医院,可以使新生婴儿在三天内积聚相当的肠菌供应,并且通过直接给婴儿注射维生素 K,或者注射到要临盆的母亲身上,来保护婴儿。以前,婴儿一生下来几乎立即得到细菌,虽然他们可能死于各种感染和疾病,但他们至少没有出血的危险。

事实上,人们可能想知道,在完全没有肠菌的情况下,生物能否生存,或者这种共生现象是否达到了密不可分的程度。不管怎

样，没有肠菌的动物从出生就一直在无菌的条件下生长，而且能够在这种条件下繁殖。小白鼠以这种方式可以繁殖12代。从1928年以来，圣母大学一直在进行这类实验。

20世纪30年代末和40年代初，在这一期间内生物学家们鉴别出了另外几种B族维生素，现分别被命名为**生物素**、**泛酸**、**吡哆醇**、**叶酸**和**氰钴胺素**。这些维生素全部由肠内细菌制造；而且，它们在食物中普遍存在，不会出现缺乏病。事实上，研究人员为了观察缺乏病的症状，不得不用有意排除这些维生素的人造食物来喂实验动物，甚至还要加入**抗维生素**以中和肠内细菌制造的维生素。（抗维生素在结构上与维生素相类似，通过竞争性抑制使酶失去活性，不能再利用维生素。）

维生素疗法

在各种维生素中，每一种维生素的结构一经确定，通常紧跟着很快就合成出这种维生素，有时在结构确定以前就合成出来了。例如，1937年R.R.威廉斯和他的小组合成了硫胺素，3年以后他们才推断出这种维生素的结构。波兰出生的瑞士生物化学家赖希施泰因和他的小组1933年合成了抗坏血酸，比C.G.金完全确定其结构略早一点。还有另一个例子，1936年两个不同的化学家小组合成了维生素A，也比完全确定其结构略早一点。

合成维生素的应用使人们能够在食物中增加维生素的含量（早在1924年，牛奶就成了第一种增加维生素的食物），同时能够以合理的价格制备维生素混合剂，在药店出售。对维生素药丸的需求因人而异。在所有的维生素中，最容易缺乏供应的是维生素D。在北方气候中生活的儿童，冬天里阳光微弱，容易患佝偻病，因此可能需要食用辐射处理过的食物和补充维生素。但是，维生素D和维生素A的剂量应当谨慎控制，因为过量使用这些维生素

是有害的。

至于B族维生素，一个人只要食用一般的粗粮，就不需要再服用这类维生素药丸。维生素C也是如此，在任何情况下都不会成为问题，因为在认识到这些维生素的时代，很少有人不喜欢喝橘子汁，也很少有人不经常喝橘子汁。

总的来说，维生素药丸的大批应用，主要是增加药店的利润，通常对人是无害的，而美国这一代人比以前几代人身高和体重都有所增加，这可能也是部分原因。

在20世纪70年代，有人提出了大剂量维生素疗法的设想。有人提出，足以防止缺乏病的极少量维生素，不一定能够满足体内最佳功能的需要，也不一定能够足以防止一些其他疾病的发生。例如，有人认为，大剂量地使用某些B族维生素可以改善精神分裂症。

大剂量维生素疗法的最重要的代表者是泡令。1970年，他认为，每日大剂量服用维生素C可以预防感冒，而且对健康还有其他一些好处。虽然他没有使医药界普遍地信服，但是大众总是强调维生素的积极作用（特别是由于这些维生素药丸随时可以买到又很便宜），他们急于服用，把药店里的维生素C抢购一空。

服用过多的水溶性维生素，如维生素B复合物和维生素C，不会造成正向性的伤害。因为体内不储存这些维生素，它们很容易被排泄掉。因此，体内实际上并不需要大剂量，过多地服用只能增加尿中的维生素含量。

脂溶性维生素完全是另外一种情况，特别是维生素A和D。这些维生素可以溶解在身体的脂肪里并储存在那里，而后像脂肪本身一样不易活动。因此，供应量太大会使身体超载而打乱身体的功能，引起所谓的**维生素过多症**。由于维生素A储存在肝脏里，特别是鱼和食鱼动物的肝脏里（整个年青一代就曾因经常服用

鱼肝油而过着一种可怕的生活)，所以一直流传着关于北极探险者的恐怖传说，据说这些探险者食用了北极熊肝而患了重病甚至死亡——维生素 A 中毒。

维生素为酶

生物化学家们自然很想弄清楚，体内如此微量的维生素是怎样对人体化学产生这样重要的影响的。明显的猜测是，维生素与酶有某种关系，因为体内酶的含量也很少。

这个答案最后从对酶化学的详细研究中得到了。研究蛋白质的化学家早已知道，某些蛋白质并不只是由氨基酸组成的，还可能有非氨基酸的辅基存在，如在血红蛋白中就存在着血红素(见第十一章)。一般来说，这些辅基倾向于紧密地连接在分子的剩余部分上。但是，对于酶来说，在某些情况下，非氨基酸部分连接得很松，可以毫不费力地移去。

这是哈登在 1904 年首先发现的(他很快又发现了含磷中间物；见第十二章)。哈登是用一种能够使糖发酵的酵母提取物进行研究的。他把这种提取物放在一个用半透膜制成的袋子里，再把袋子放进淡水里，结果发现，小的分子能够穿过半透膜，而大的蛋白质分子穿不过去。在这种**透析**进行了一段时间以后，哈登发现，提取物的活性消失了，无论是袋子里面的液体还是袋子外面的液体，都不能使糖发酵。如果把两种液体混合在一起，又恢复了活性。

显然，这种酶不仅是由一个大的蛋白质分子而且还有一个**辅酶**分子组成的，辅酶分子小得可以穿过半透膜的孔。辅酶是酶的活性所必不可少的(打个比方说，它就是刀子的刃)。

化学家们立即着手研究确定这种辅酶(以及其他酶的类似附属物)的结构问题。德国血统的瑞典化学家奥伊勒-克尔平在这方面首先取得了真正的进展，结果，他和哈登分享了 1929 年的诺贝

尔化学奖。

哈登所研究的酵母酶的辅酶，经证明是由一个腺嘌呤分子、两个核糖分子、两个磷酸基和一个烟酰胺分子的结合物组成的。在活组织中发现这最后一种物质是一件不寻常的事情，所以人们的兴趣自然而然地集中到烟酰胺上。[之所以叫做烟酰胺，是因为它含有一个酰胺基($CONH_2$)，而且很容易由烟酸形成。烟酸在结构上与烟碱(尼古丁)有关，但它们的性质上完全不同，例如，烟酸是生命所必须的，而烟碱却是一种剧毒品。]烟酰胺和烟酸的结构式如下：

```
      CH          O              CH          O
    /    \\      //            /    \\      //
  HC       C — C             HC       C — C
  ||       |     \           ||       |     \
  HC       CH     OH         HC       CH     NH2
    \    //                    \    //
      N                          N
     烟酸                        烟酰胺
```

哈登的辅酶结构式一研究出来，便立即重新命名为**二磷酸吡啶核苷酸**(DPN)，也称做辅酶Ⅰ。

很快又发现了一种类似的辅酶，和DPN的不同之处仅在于它含有三个磷酸基而不是两个，自然，这种辅酶被命名为**三磷酸吡啶核苷酸**(TPN)，也称做辅酶Ⅱ。DPN和TPN被证明是体内许多酶的辅酶，这两种辅酶都起着把氢原子从一个分子传递到另一个分子的作用。(这种酶叫做**脱氢酶**。)正是辅酶做着传递氢的实际工作，而酶本身每次只是恰当地选择要作用的特定底物。酶和辅酶各有重要的功能，如果两者有一个供应不足，通过传递氢而从食物中释放能量的过程就会减慢以至中断。

在所有这一切当中，立即引起人们注意的是，烟酰胺基是人体本身不能制造的酶的惟一部分。除烟酰胺外，人体能够制造它所

需要的所有蛋白质以及 DPN 和 TPN 的所有成分，就是说，人体必须在食物中寻找现成的烟酰胺(或者至少是以烟酸的形式)。否则，DPN 和 TPN 的制造就会停止，而且它们所控制的所有递氢反应都要放慢。

烟酰胺或烟酸是维生素吗？碰巧，冯克(创造"维生素"一词的那个人)从稻壳中分离出了烟酸。烟酸不是治疗脚气的那种物质，所以他忽视了它。但是，烟酸在和辅酶连接后就表现出其作用强度，威斯康星大学的生物化学家埃尔维耶姆和他的同事们便在另一种缺乏病上试用它。

在 20 世纪 20 年代，美国医生戈德堡研究了**糙皮病**。这是地中海地区的一种流行病，本世纪初在美国南部几乎也流行起来。糙皮病最明显的症状是皮肤干燥呈鳞状、腹泻和舌头红肿，有时还会导致精神错乱。戈德堡注意到，以有限种类的膳食为生(例如主食玉米粉)的人和只有一头乳牛的贫困家庭里的人经常受到这种病的侵害，于是他开始用人造食物进行实验。他把人造食物给动物和监狱里的囚犯(那里糙皮病好像很猖獗)食用。他成功地使狗产生了**黑舌病**(一种与糙皮病类似的病)，然后又用一种酵母提取物治好了这种病。他发现，在囚犯的食物里加些牛奶就可以治好他们的糙皮病。他断定，这一定与某种维生素有关。他把这种维生素命名为**抗糙皮病因子(维生素 PP)**。

当时，埃尔维耶姆也是选择了糙皮病来进行烟酸的试验。他用微小剂量的烟酸喂患有黑舌病的狗，狗的病有了明显的好转，喂过几次以后病就治好了。烟酸确实是一种维生素，它就是抗糙皮病因子。

美国医学协会担心公众会误认为烟草中含有维生素，要求不要把这种维生素叫做烟酸，并建议命名为**尼克酸**或**抗糙皮病维生素**。

人们逐渐地了解到,各种维生素只是辅酶的一部分,每种维生素都是由动物或人体自身所不能制造的一种分子基团组成的。1932年,瓦尔堡曾发现一种黄色的辅酶,可以催化递氢反应。此后不久,奥地利化学家R.库恩和他的同事们便分离出了维生素B_2,经证明是黄色的,并弄清了它的结构式:

```
                  CH2—OH
                   |
              HO—CH
                   |
              HO—CH
                   |
              HO—CH
                   |
                  CH2
                   |
 CH3      CH       N       N     O
    \   //  \    /   \   //  \  //
      C       C        C       C
      |       |        |       |
      C       C        C       NH
    /   \\  /   \    //  \   /
 CH3      CH       N       C
                           ||
                           O
```

连接在中间环上的碳链像是一个叫做**核糖醇**的分子,所以维生素B_2被命名为**核黄素**。由核黄素光谱的测定表明,核黄素的颜色和瓦尔堡的黄色辅酶非常相似,所以R.库恩在1935年试验了这种酶的核黄素活性,发现确实具有这种活性。同一年,瑞典生物化学家泰奥雷尔研究出了瓦尔堡的黄色辅酶的结构,证明它是核黄素加一个磷酸基。(1954年,第二个比较复杂的辅酶也被证明其分子的一部分是核黄素。)

R.库恩获得1938年的诺贝尔化学奖,泰奥雷尔获得1955年的诺贝尔医学与物理学奖。但遗憾的是,R.库恩是在奥地利被纳

粹德国侵占后不久被选中获这个奖的,因而被迫拒绝受奖(和多马克一样)。

核黄素是由瑞士化学家卡勒独自合成的。由于这项成果和对维生素研究的其他成果,卡勒分享了 1937 年的诺贝尔化学奖。(和他分享这个奖的是英国化学家霍沃思,他研究的是碳水化合物分子的环结构。)

1937 年,德国生物化学家勒曼和舒斯特发现了一种重要的辅酶,其分子结构有一部分是硫胺素。20 世纪 40 年代发现了 B 族维生素和辅酶的一些其他联系。吡哆醇、泛酸、叶酸、生物素——相继发现每一种都被连接在酶的一个或几个基上。

维生素很好地表明了人体化学机器的经济性。人体细胞可以免除制造它们,因为它们只具有一种特殊功能,而且细胞可以从食物中得到必要的供应,没有大的风险。有许多其他重要物质,身体只需微量但必须自己制造,例如,ATP(腺苷三磷酸)是由和构成必不可少的核酸基本相同的构件形成的。任何生物如果失去合成核酸所必需的任何酶,很难想象能存活下去,因为生物需要大量的核酸,不能指望食物供应它所需要的构件,而且,能制造核酸自然意味着能合成 ATP。因此,目前已知的生物没有不能制造自身的 ATP 的,大概今后也不会发现这种生物。

制造像维生素这样特殊的产品,就好像在装配线旁边设立一台特殊的机器,来制造汽车用的螺母和螺栓。从零件供应商那里获得这些螺母和螺栓效率会更高,对于汽车装配线的设备不会造成任何损失。同样,生物可以从它的食物中获得维生素,以节省空间和原料。

维生素还说明了生命的另一个重要事实。据目前所知,所有的活细胞都需要 B 族维生素,不论是植物、动物还是细菌,辅酶是每一个活细胞的细胞机器不可缺少的一部分。不管细胞是从食物

中得到还是自己制造B族维生素，如果它要生存和生长的话，就必须有这些维生素。这种对一组特殊物质的普遍需要，是一件给人以深刻印象的证据，证明所有的生命在本质上是一致的，而且很可能都是由在原始海洋中形成的单个原始生命变来的。

维生素A

虽然现在对B族维生素的作用已经知道得很详细，但证明其他维生素的化学功能却是棘手的问题。惟一得到了真正进展的是维生素A。

1925年，美国生理学家弗里德里夏和霍尔姆发现，用缺乏维生素A的食物喂的大白鼠，在暗光下活动有困难。对它们的视网膜的分析表明，它们缺乏一种叫做**视紫红质**的物质。

眼睛的视网膜上有两种细胞——**杆状细胞**和**锥状细胞**。杆状细胞专司暗光下的视觉，它们含有视紫红质。因此，缺乏视紫红质只妨碍暗光下的视觉，从而造成所谓的**夜盲症**。

1938年，哈佛大学的生物学家沃尔德开始研究暗光下视觉的化学。他证明，光可以使视紫红质分离成两个组成部分：叫做**视蛋白**的蛋白质部分和叫做**视黄醛**的非蛋白质部分。视黄醛被证明在结构上和维生素A非常相似。

在黑暗中，视黄醛总是与视蛋白重新结合，形成视紫红质。但是，当它在光下和视蛋白分离的时候，因为它不稳定，会有一小部分被分解掉。然而，视黄醛的供应可以从维生素A中得到补充，维生素A能够在酶的帮助下移去两个氢原子转变成视黄醛，因此维生素A成了视黄醛的一个稳定的来源。如果膳食中缺乏维生素A，最后视黄醛的供给和视紫红质的量就会下降，结果造成夜盲症。由于在这一领域中的成就，沃尔德分享了1967年的诺贝尔医学与生理学奖。

维生素 A 一定还有其他的功能，因为缺乏维生素 A 会引起黏膜干燥以及其他不属于眼睛视网膜的疾病。但是对维生素 A 的其他功能目前人们还不明了。

对于维生素 C、D、E 和 K 的化学功能人们同样也还不了解。

无 机 盐

人们自然会猜想，能够构成像活组织那样奇妙东西的物质，其本身一定是异乎寻常的。蛋白质和核酸确实是非常奇妙的，但是人们坦率地认识到，构成人体的元素像泥土一样平常，而这些元素仅用几个美元就可以买到。（以前用几十美分就可以买到，但通货膨胀使东西都涨价了。）

19 世纪初期，当化学家们开始分析有机化合物时，就清楚地了解到，活组织主要是由碳、氢、氧和氮组成的。仅这 4 种元素就占人体重量的 96%，其次体内还有少量的硫。如果把这 5 种元素烧掉，就会剩下一些白灰，大部分都是骨骼的残留物。这些灰就是一些无机盐。

在这些灰中可以找到普通的食盐(氯化钠)，这并不令人惊奇。说到底，食盐不只是一种调味品，而是一种生死攸关的物质。你只要尝一尝血液就会认识到，食盐是人体的一种基本成分。食草动物大概因为只食缺乏盐分的草和叶，所以必须经常冒险到盐渍地去舔盐，以弥补食物中缺少的盐分。

早在 18 世纪中叶，瑞典化学家甘思就已经证明，骨骼主要是由磷酸钙组成的；意大利科学家门基尼已经证实，血液中含有铁。1847 年，李比希在组织中发现了钾和镁。到 19 世纪中叶，已经知

道人体内的无机盐成分包括钙、磷、钠、钾、氯和铁。此外，这些成分在生命过程中的活性和组成有机化合物的各种元素是一样的。

铁就是一个最清楚的例子。如果饮食中缺少铁，血液中就会缺乏血红蛋白，从肺部给细胞输送的氧就会减少。这种情况叫做**缺铁性贫血**。这种病人因缺少红色素而显得苍白，因缺少氧而感到疲倦无力。

1882年，英国医生林格发现，在含有钠、钾和钙等基本上按青蛙血液所含的比例配制的溶液中，青蛙的心脏在它的体外仍能存活和跳动（这种溶液今天仍叫做**林格溶液**）。每一种成分都是肌肉的功能所必不可少的。过量的钙会造成肌肉永久性的收缩（**钙僵直**），过量的钾会使肌肉陷入永久性的松弛（**钾抑制**）。另外，钙对血液凝集也是十分重要的，没有钙，血液就不能凝集，在这一方面任何其他元素都不能代替钙。

在所有的无机盐中，磷是最后被发现的一种无机盐，它在生命的化学机制中执行的功能最多而且最重要（见第十三章）。

钙是骨骼的一个主要成分，占人体的2%；磷占1%。上面提到的其他无机盐是按递减的比例排列的，一直到铁，铁仅占人体的0.004%。（即使这样，一般成年男子的组织中仍含有3克铁。）但是，这个清单并没有完结，还有其他一些无机盐，虽然在组织里的量勉强可以测得到，但是对生命来说是必不可少的。

一种元素可能仅在体内存在，并不一定有用，它可能只是一种杂质。我们都会从食物中摄取我们环境中的每一种元素，至少是微量的，每一种都会有一小部分进入我们的组织。但是，像钛和镍等元素对身体毫无用处，相反，锌却是必需的。人们怎样区别必需的无机盐和非必要的杂质呢？

最好的方法是证明某种必需的酶把这种微量元素作为一种必要的成分。（为什么要用酶来证明呢？因为微量元素只有通过酶

才能发挥重要作用。)1939 年,英国的基林和曼证明,锌是碳酸酐酶的重要成分。现在已经知道,碳酸酐酶是身体处理二氧化碳所必不可少的,而对这种重要废物的适当处理又是生命所必需的。人们从理论上推导出,锌对于生命是必不可少的,而实验证明确实如此。用低锌的食物喂大白鼠,大白鼠就会停止生长,身上的毛脱落,皮呈鳞状,最后过早死亡,缺乏锌确实如同缺乏一种维生素。

用同样的方法已经证实,铜、锰、钴和钼也是动物生命所不可缺少的,食物中缺乏这些元素就会引起营养缺乏病。钼是一种叫做**黄嘌呤氧化酶**的成分之一。20 世纪 40 年代,人们首先注意到钼和一些植物有重要联系,当时的土壤科学家发现,如果土壤中缺乏钼,植物就不能很好地生长。看来钼是土壤微生物中某些酶的一种成分,这些微生物可以催化空气中的氮转变成含氮的化合物。植物依赖微生物的这种帮助,因为植物本身不能从空气中摄取氮。(地球上的各种生物都紧密地相互依赖,这只是无数个例子中的一个。生物界就像一条漫长而复杂的链锁,任何环节被破坏,都可能遭受困难甚至灾难。)

并非所有的微量元素都是普遍必需的。微量的硼对于植物似乎是必不可少的,但对于动物显然并不需要。某些被囊动物可以从海水中获得钒,并在它们的运送氧的化合物中使用它,但是几乎没有其他动物以任何理由需要钒。有些元素,如硒和铬,人们怀疑是身体所必不可少的,但它们的确切作用尚未确定。

现在已经知道,正如有无水的沙漠一样,也有微量元素的沙漠;两者通常在一起,但并不总是在一起。在澳大利亚的土壤中,科学家们发现,以某种适当的化合物形式把 1 克的钼撒在 2000 平方米的缺钼的土地上,结果土壤的肥力大为增加。1960 年对美国农田的调查表明,有 41 个州的土地缺硼,29 个州的土地缺锌,还有 21 个州的土地缺钼。微量元素的用量是十分重要的。过多或

过少都不好，因为有些元素（如铜）在少量时是生命所必需的，量大了就会有毒。

这自然使我们想到相当古老的施肥习惯的合理性。直到近代，施肥用的还是动物粪便、绿肥和鸟粪等，这样可以恢复土壤中氮和磷的含量。这样施肥常常伴随着恶臭和传染疾病的可能性。19 世纪初期，由李比希研究出的干净而无臭味的化肥取代了粪肥。

钴

在无机盐缺乏病中，关于钴的发现是最引人注目的篇章之一。它关系到一种曾经无药可医的致命疾病**恶性贫血**。

20 世纪 20 年代初期，罗彻斯特大学病理学家 G.H. 惠普尔进行了利用各种食物补充血红蛋白的实验。他先给一些狗放血，造成贫血，然后再给它们喂各种不同的食物，看哪一种食物能够使这些狗最快地补充上失去的血红蛋白。他这样做并不是因为他对恶性贫血或任何种类的贫血感兴趣，而是因为他要研究胆色素，胆色素是身体利用血红蛋白制造的化合物。G.H. 惠普尔发现，肝脏是能够使狗最快地制造血红蛋白的食物。

1926 年，两位波士顿医生迈诺特和墨菲研究了 G.H. 惠普尔的结果，决定用肝对恶性贫血病人进行试验治疗。这种治疗果然奏效。只要病人把肝作为食物的重要部分，这种不治之症就能治好。G.H. 惠普尔、迈诺特和墨菲分享了 1934 年的诺贝尔医学与生理学奖。

遗憾的是，虽然肝经过适当的烹调，加上鸡蛋、洋葱和鸡油，是一道美味的菜肴，但经常食用会使人感到腻烦。生物化学家们开始寻找肝中能够治病的物质；到 1930 年，哈佛医学院的 E.J. 科恩和他的同事们制备了一种浓缩物，效力是肝本身的 100 倍。但是

要分离出活性因子，还需要进一步纯化。幸而，20 世纪 40 年代，默克实验室的化学家们发现，从肝中得到的浓缩物可以加速某些细菌的生长。这就提供了一种检验任何一种肝制剂效力的简便方法，于是生物化学家们可以进而把浓缩物分解成碎片，并连续对它们进行快速检验。因为这些细菌对肝物质的反应方式和它们对硫胺素（维生素 B_1）或核黄素（维生素 B_2）的反应方式基本相同，所以研究人员现在强烈地猜测他们寻找的这种因子是一种 B 族维生素。他们称之为**维生素** B_{12}。

到 1948 年，利用细菌的反应和色谱法，英国的 E.J. 史密斯和默克实验室的 K.A. 福克斯成功地分离出了维生素 B_{12}的纯样品。维生素 B_{12}被证明是一种红色物质，两位科学家都认为它的颜色和某些钴化合物的颜色相似。当时人们已经知道，缺乏钴会使牛羊严重贫血。E.J. 史密斯和 K.A. 福克斯都曾把维生素 B_{12}的样品烧掉，分析剩下的灰，发现确实含有钴。这种化合物现在被命名为**氰钴胺素**。到目前为止，这是在活组织中发现的惟一的含钴化合物。

将维生素 B_{12}断裂并检验其片段，化学家们很快就断定，维生素B_{12} 是一种极其复杂的化合物，他们研究出的经验式是 $C_{63}H_{88}O_{14}N_{14}PCo$。后来英国化学家 D.C. 霍奇金利用 X 射线确定了它的完整结构。维生素 B_{12}晶体的衍射图使她建立了分子的电子密度图，即哪些区域发现电子的可能性大，哪些区域可能性小。如果把同等可能性的区域用线条连接起来，就会构成整个分子形状的骨架图。

这件事并不像听起来那么容易。复杂的有机分子能够产生一种极其复杂的 X 射线散射。把这种散射翻译成电子密度所需要的数学运算是极端冗长的。1944 年，计算机帮助搞清了青霉素的结构式。维生素 B_{12}比青霉素复杂得多，D.C. 霍奇金不得不使用

更先进的电子计算机(SWAC),并做了一些艰苦的准备工作。不过,这项工作最终为她赢得了1964年的诺贝尔化学奖。

维生素B_{12}(氰钴胺素)分子原来是一种倾侧的卟啉环,一侧缺少一个连接两个较小的吡咯环的碳桥,在另一侧吡咯环上有复杂的侧链。维生素B_{12}分子和较为简单的血红素分子相似,但有这样一个关键的差别,血红素在卟啉环的中心有一个铁原子的地方,氰钴胺素有一个钴原子。

只要把极少量氰钴胺素注入恶性贫血病人的血液里就会产生活性。人体对这种物质的需要量只是其他B族维生素的1/1 000。因此,任何食物都应该含有我们所需要的足够的氰钴胺素。即使食物中的含量不够,肠内的细菌也能制造出一些来。那么,为什么还会有人患恶性贫血呢?

显然,患这种病的人只是因为不能通过肠壁给身体吸收足够的维生素B_{12}。实际上他们的粪便中含有丰富的维生素B_{12}(因为缺乏这种维生素他们就会死亡)。通过食用可以提供特别丰富的维生素B_{12}的肝,这类病人可以勉强吸收足够的氰钴胺素而存活下去。但是病人通过膳食对这种维生素的需要量是直接往血液里注射需要量的100倍。

患这种病的人一定是肠器官出了毛病,使维生素B_{12}不能通过肠壁。由于美国医生卡斯尔的研究,人们从1929年以来就已经知道,答案不管怎样是在胃液上。卡斯尔把胃液中这种必需的成分叫做**内在因子**。而在1954年,研究人员从动物的胃黏膜中发现了一种帮助吸收维生素B_{12}的产物,并证明这种产物就是卡斯尔的内在因子。很明显,恶性贫血病人没有这种物质。当把少量的这种物质与氰钴胺素混合后,病人可以毫不费力地通过肠来吸收维生素B_{12}。内在因子已被证明是一种糖蛋白,上面结合着一个氰钴胺素分子,并把这个分子传递给肠细胞。

碘

现在再回到微量元素上来。第一个被发现的不是金属而是碘,一种具有类似于氯的性质的元素。这个故事要从甲状腺说起。

1896年,一位德国生物化学家鲍曼发现,甲状腺的显著特点是含有碘,而所有其他组织几乎都没有碘。1905年,一位名叫马林的医生,刚刚在克利夫兰开业,惊奇地发现甲状腺肿在那个地区非常普遍。甲状腺肿是一种惹人注目的疾病,有时造成甲状腺奇异地肿大,使患者变得迟钝、倦怠、神经质、过度敏感甚至突眼。瑞士医生科赫尔发展了切除不正常甲状腺的外科技术,结果减轻了甲状腺肿的症状,为此他获得了1909年的诺贝尔医学与生理学奖。

但是马林想,甲状腺肿大会不会是由于缺乏碘造成的,因为碘是甲状腺专有的一种元素。他还想,利用化学药物治疗甲状腺肿是否会比开刀更安全和方便。他认为,克利夫兰地区的碘缺乏病和甲状腺肿可能与缺碘有密切关系。因为克利夫兰地区是内陆,不像在靠近海洋的土壤中或海味中那样有丰富的碘,而在海边,海味是人们的一种主要食物。

马林在动物身上进行试验,10年以后,他感到有了充分的把握,可以试着给甲状腺肿患者食用含碘的化合物。他可能并不太惊奇地发现,这样治疗是有效的。马林于是建议,在土壤中缺乏碘的内陆城市,把含碘的化合物加入食盐和供水中。然而,这个建议遭到了强烈的反对,又过了10年人们才普遍接受了把水碘化和食用碘化盐的做法。碘的补充已成为常规,单纯性甲状腺肿对人类的危害减小了。

氟化物

半个世纪以后,美国的研究人员(以及公众)对类似的健康问题进行了研究和讨论,这就是把水氟化防止龋齿的问题。这个问题是非科学界和政治界激烈争议的一个问题,他们的反对比反对碘的情况更为坚决。大概一个原因是,牙齿上的洞似乎不像甲状腺肿那样严重地损害人的容貌。

在本世纪初的几十年中,牙科医生们注意到,美国一些地区(如阿肯色州的一些地方)的人牙齿常常变黑——珐琅质上出现斑点。最后找到的原因是,在这些地区的天然饮水中氟化物的含量比一般为高。随着研究人员把注意力转向水中的氟化物,又有了另一个有趣的发现,有些地区水中氟化物的含量比一般水高,可是人们的龋齿发生率却异乎寻常的低。例如,伊利诺斯州的盖尔斯伯格城,水里含有氟化物,而在其附近的昆西城,水中几乎不含氟化物,但盖尔斯伯格城小孩牙齿龋洞的平均数目只有昆西城的 1/3。龋齿可不是闹着玩的事,凡是得过牙痛的人都会同意这个说法。美国人一年治牙的费用就超过 15 亿美元;而且到 35 岁的时候,2/3 的美国人至少失掉一些牙齿。牙科研究者成功地得到进行大规模研究的支持。他们发现,只要在饮水中加入1/1000000的氟化物,估计每人每年平均花 5～10 美分,就可以使牙齿不出现斑点,而且还会显示出预防龋齿的效果。因此他们采用1/1000000作为检验社会供水的氟化效果的标准。

效果主要产生在牙齿正在形成的那些人身上,也就是儿童身上。饮水中氟化物的存在可以确保微量的氟化物吸收到牙齿结构中去;很明显,正是这种氟化物使牙齿的无机盐不适合于细菌。(以药丸或牙膏的形式使用少量的氟化物也可以显示出一些预防龋齿的效果。)

在经过二十多年研究的基础上,牙科学界现在已经确信,美国

人每年只要花几分钱，龋齿就可以减少大约 2/3，每年至少可以节省 10 亿美元的牙科费用，而且还可以减轻痛苦和牙科疾患，这些是不能用金钱来计算的。

反对把水氟化的人大体上使用了两条主要的理由：第一，氟化物是有毒的，所以绝对不能用这种物质来氟化水！第二，氟化水是一种强迫的药物处理，侵犯了个人自由。情况可能如此，但是人们怀疑，任何社会的个人是否应该有使别人不能预防疾病的自由。如果强迫的药物处理是一种过错，那么我们对今天大部分文明国家里的一些强迫的药物处理，不仅对氟化而且对氯化、碘化，以及就这一点而言，对所有形式的接种，包括预防天花的接种，都会提出异议。

激　　素

酶、维生素、微量元素——这些稀少的物质多么有效地决定着生物的生与死！但是，还有第四组物质，在某种程度上它们的效力更大。它们指导着生物的整个行为，就像唤醒一个城市活动的总开关或控制一台机器的节流阀。

本世纪初，两位英国物理学家贝利斯和斯塔林对消化道内的一种引人注目的细微表现发生了兴趣，胃后面的叫做胰腺的腺体，就在食物要离开胃进入小肠的时候，能够给小肠的上部释放消化液。胰腺是怎样得到这个信息的呢？是什么告诉胰腺分泌消化液的适当时刻到了呢？明显的猜测是，这种信息一定是经由神经系统传递的，因为神经系统是当时惟一知道的体内通信的方式。人们推测，食物从胃进入小肠，刺激了神经末梢，神经通过脑或脊髓

把信息转达给胰腺。

为了验证这种学说，贝利斯和斯塔林切断胰腺的各条神经。他们的实验失败了。胰腺仍能正好在适当的时刻分泌出消化液。

迷惑的实验者们继续寻找一种可以替代的信号系统。1902年，他们找到了一种**化学信使**。这是由小肠壁分泌出来的一种物质。当他们把这种物质注入到动物的血液中时，即使在动物不吃东西的情况下，也能刺激胰液的分泌。贝利斯和斯塔林的结论是，在正常的情况下，进入小肠的食物刺激粘膜分泌出这种物质，然后经由血液流到胰腺，并触发胰腺开始分泌胰液。这两位研究者把小肠分泌的这种物质命名为**肠促胰液肽**，并称之为**激素**（源自希腊语，原意是“激发活动”）。现在已经知道，肠促胰液肽是一种小的蛋白质分子。

早在几年前，生理学家们就发现，如果将肾上腺（正好在肾上方的两个小器官）的一种提取物注入体内会使血压升高。1901年，在美国工作的日本化学家高峰让吉分离出了这种物质，并命名为**肾上腺素**。它的结构被证明与酪氨酸相似，在体内它是由酪氨酸衍生出来的。

显而易见，肾上腺素也是一种激素。随着岁月的推移，生理学家们发现，体内的一些其他**腺体**也分泌激素。（“腺”字源自希腊语的“橡子”，最初用于体内组织的任何小块，但逐渐习惯于命名任何分泌液体的组织，甚至大到像肝脏和乳房那样大的器官。不分泌液体的小器官逐渐失去了这个名称，因此，将淋巴腺重新命名为**淋巴结**。尽管如此，当咽喉和腋下的淋巴结在感染期间肿大时，医生和母亲们仍称之为“腺肿大”。）

许多腺体，如消化道的那些腺体、汗腺和唾液腺等，是通过导管排出它们的液体的。然而，有一些腺体是无管道腺体，它们直接把液体释放到血液里，然后使这些分泌物在体内循环。正是这些

无管道(或内分泌)腺体的分泌物含有激素(见图 15 - 1),因此对激素的研究被称为**内分泌学**。

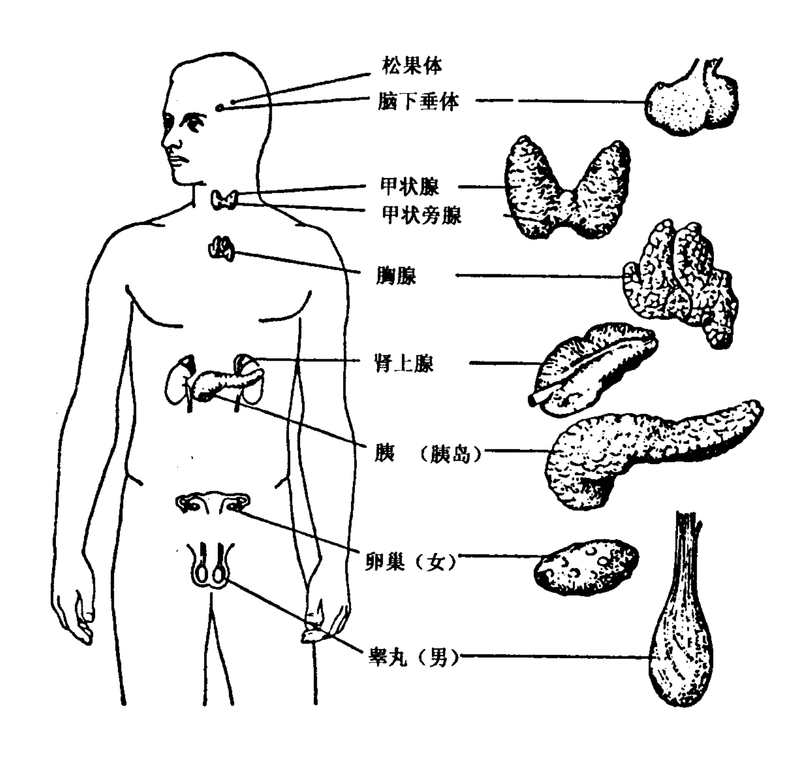


图 15 - 1 内分泌腺

当然,生物学家们最感兴趣的是控制哺乳动物身体(特别是人体)功能的激素。但是,我想至少应该提一下,除此而外,还有控制和加速植物生长的**植物激素**和控制色素沉着及蜕皮的**昆虫激素**等等。

当生物化学家们发现碘集中在甲状腺里时,他们就合理地猜测,这种元素是一种激素的一部分。1915 年,明尼苏达州梅奥基

金会的肯德尔，从甲状腺中分离出一种含碘的氨基酸，作用像一种激素，他把这种物质命名为**甲状腺素**。每一个甲状腺素分子含有4个碘原子。同肾上腺素一样，甲状腺素和酪氨酸非常相似，在体内也是用酪氨酸制造出来的。（许多年以后的1952年，生物化学家皮特-里弗斯和她的同事们分离出另一种甲状腺激素——**三碘甲状腺素**，之所以这样命名是因为它的分子含有3个碘原子，而不是4个。它不如甲状腺素稳定，但活性却是甲状腺素的3～5倍。）

甲状腺激素控制着体内代谢的总速率，它们激发所有的细胞进行活动。甲状腺功能低下的人会变得行动迟缓，反应迟钝，过一段时间以后还可能变得精神滞呆，因为各种细胞都在低速活动；相反，甲状腺机能亢进的人会变得神经过敏，极度紧张不安，因为他们的细胞都在快速活动。不论机能低下还是机能亢进，都会产生甲状腺肿。

甲状腺控制着身体的**基础代谢**。基础代谢就是在舒适的环境条件下处于完全休息状态时身体耗氧的速率——打个比方来说，就是“悠闲的速率”。如果一个人的基础代谢高于或低于这个标准，就会怀疑甲状腺出了毛病。有一个时期测量基础代谢相当繁琐，因为被测量者先要禁食一段时间，再静卧半小时，才能测量速率，且不说在此之前还要有更长一段时间的准备工作。为什么不用直接的方法来取代这些麻烦的过程呢？就是说，为什么不可以直接测量甲状腺产生的控制速率的激素的量呢？近些年来，研究人员已经研究出一种测量血液中**蛋白结合碘**（PBI）的量的方法，这个方法可以显示出甲状腺激素的产生率，因而提供了一种简单而快速的检验血液的方法，取代了原来的基础代谢测定法。

胰岛素和糖尿病

最著名的激素是胰岛素，它是结构完全弄清楚了的第一种蛋

白质(见第十二章)。胰岛素的发现是一系列事件的顶峰。

多尿病是一组疾病的总称,共同的病征是异常的口渴,同时又引起异常的多尿。这是一种最常见的先天性代谢失调。在美国有150万多尿病患者,其中80%年龄在45岁以上。这种病是女性比男性易患的几种病中的一种:女性患者与男性患者的人数比是4:3。

多尿病这个名称源自希腊语,意思是"虹吸管"(显然,造字者把这种病形象地描述成水不断地被从体内吸出来)。**糖尿病**是其中最严重的一种,"糖尿"来自希腊语"蜂蜜",它表明了下列事实:在这种病的一定发展阶段尿具有甜味。(这可能是由某个有作为的医生直接测定出来的,但是第一个测定指标可能是相当间接的:糖尿往往会招致许多苍蝇。)1815年,法国化学家谢夫勒尔能够证明,这种甜味是由于尿中存在着单糖葡萄糖。这种对葡萄糖的大量浪费清楚地表明,身体不能有效地利用食物。事实上,糖尿病患者虽然胃口增加,但随着病情的发展,体重可能会日益减轻。直到大约30年以前,对这种病没有任何有效的治疗方法。

19世纪,德国生理学家梅灵和O. 明科夫斯基发现,把狗的胰腺切除后会产生和糖尿病相似的症状。在贝利斯和斯塔林发现了激素分泌物以后,人们才开始认为,胰脏的一种激素可能和糖尿病有关。但是当时惟一知道的胰腺的分泌物是消化液。那么,这种激素是从哪里来的呢?一个重要的线索被发现了:当把胰腺的导管结扎起来,使它产生的消化液不能排出时,胰腺的主要部分萎缩了,但是被称为**朗格尔汉斯小岛**的细胞群依然保持完整(这些细胞群是德国医生朗格尔汉斯1869年发现的,因此以他的名字命名)。

因此,1916年,苏格兰医生沙比-谢弗提出,朗格尔汉斯小岛一定能够产生抗糖尿病的激素。他把这种尚未被证实的激素命名

为**胰岛素**(源自拉丁语“岛”)。

从胰腺中提取这种激素的最初的一些尝试完全失败了。现在我们知道,胰岛素是一种蛋白质,胰腺的蛋白质分解酶甚至在化学家们试图分离胰岛素的时候就会把胰岛素破坏掉了。1921年,加拿大医生班廷和生理学家贝斯特试用了一种新的方法(是在多伦多J.J.R.麦克劳德的实验室里进行的)。首先他们把胰腺的导管结扎起来。这样一来,胰腺中产生酶的部分萎缩,停止产生蛋白质分解酶,他们就能够从胰岛中提取完整的激素了。这样提取的激素经证明确实可以有效地对抗糖尿病。据估计,在此以后的50年中,它拯救了大约2 000万~3 000万糖尿病患者的生命。

1923年,班廷和J.J.R.麦克劳德获得诺贝尔医学与生理学奖。

体内胰岛素的功效最清楚地显示在与血液中葡萄糖浓度水平的关系上。在通常情况下,身体把大部分葡萄糖以糖原的形式储存在肝中(糖原是法国生理学家贝尔纳1856年发现的),仅有少量的葡萄糖保存在血液中,以满足细胞直接的能量需要。如果血液中葡萄糖的浓度上升得过高,就会刺激胰腺增加对胰岛素的分泌,胰岛素流入血液中,使葡萄糖水平降低;反之,当葡萄糖水平下降得过低时,这种降低的浓度会抑制胰腺对胰岛素的分泌,于是葡萄糖水平就会上升。这样就达到一种平衡。胰岛素的产生使葡萄糖水平下降,葡萄糖水平的降低则减少胰岛素的产生,胰岛素的减少又使葡萄糖水平升高,葡萄糖水平升高又增加胰岛素的产生,胰岛素的增加再使葡萄糖水平降低,如此循环不已。这就是一个被称做**反馈**的例子。控制房间供暖的恒温器以同样的方式工作着。

反馈可能是身体用以保持恒定内环境的通常装置。另一个例子就是由甲状旁腺产生的激素。甲状旁腺是埋藏在甲状腺里的4个小腺体。美国生物化学家克雷格和拉斯马森经过5年的研究,

终于于 1960 年提纯出**甲状旁腺素**。

甲状旁腺素分子比胰岛素分子大一点，是由 83 个氨基酸组成的，分子量为 9 500。甲状旁腺素的作用是增加小肠对钙的吸收和减少钙从肾脏中流失。每当血液中钙的浓度下降得略低于正常标准时，就会刺激甲状旁腺素产生分泌。由于钙吸收的多排出的少，血液中钙的水平很快就会上升；这种上升反过来又抑制甲状旁腺素的分泌。血液中钙的浓度和甲状旁腺素的分泌量之间的相互作用，使钙的水平总是保持在接近需要的水平上。（这也是一件好事，因为钙的浓度即使稍微偏离适当的水平也能导致死亡。因此，切除甲状旁腺是致命的。曾经有一个时期，急于切去部分甲状腺以减轻甲状腺肿患者痛苦的医生们，认为去掉这些小得多而且很不显眼的甲状旁腺也无关紧要。病人的死亡给了他们很好的教训。）

有时，两种作用相反的激素同时存在会使反馈的作用更加精密。例如，1961 年，英国哥伦比亚大学的柯普证明存在着一种他称之为**降钙素**的甲状腺激素，它可以促使钙离子沉积到骨骼里，从而起到降低血液中钙的水平的作用。甲状旁腺素朝一个方向作用，降钙素朝另一个方向作用，在这种情况下，由血液中钙的水平所产生的反馈就能够得到更加精密的控制。（降钙素分子是由单个多肽链组成的，含有 32 个氨基酸。）

血糖浓度的情况也是如此。血糖浓度中不仅有胰岛素，而且还有胰岛分泌的第二种激素进行合作。胰岛是由两种不同的细胞组成的：α **细胞**和 β **细胞**。β 细胞制造胰岛素，而 α 细胞产生**胰高血糖素**。人们最早推测胰高血糖素的存在是在 1923 年，但直到 1955 年这种激素才被结晶出来。它的分子是由含有 29 个氨基酸的单链组成的，到 1958 年全部搞清了它的结构。

胰高血糖素和胰岛素的作用相反，所以两种激素的作用相互

抗衡，而在血液葡萄糖浓度的刺激下，这种平衡会稍有偏移。脑下垂体（下面我就要讲到）的分泌物也有抵消胰岛素活性的作用。由于对这种作用的发现，阿根廷生理学家奥赛分享了1947年的诺贝尔医学与生理学奖。

现在问题清楚了，糖尿病的问题在于，胰岛失去了产生足够的胰岛素的能力。因此，血液中的葡萄糖浓度逐渐上升，当血糖水平上升到大约超过正常标准的50%时，就会越出**肾阈**，即葡萄糖溢出流进尿里去。从某一点上来说，把葡萄糖排入尿中乃是两种危害中较轻的一种，因为如果让血液中葡萄糖的浓度再升高的话，就会使血液的黏滞性升高，从而引起心脏过度疲劳。（心脏是用来泵血液的，而不是泵糖浆的。）

检查是否患有糖尿病的传统方法是检验尿中有没有糖。例如，可以把几滴尿与**贝内迪克特溶液**（为纪念美国化学家贝内迪克特而命名）混合在一起加热。贝内迪克特溶液含有硫酸铜，呈深蓝色。如果尿中没有葡萄糖，溶液仍保持蓝色。如果有葡萄糖，硫酸铜就会变成氧化亚铜。氧化亚铜是一种砖红色不溶于水的物质。因此，试管底部有带红色的沉淀就可以确认尿中含有糖，通常意味着患有糖尿病。

现在可以使用一种更简便的方法。把一个长约5厘米的小纸条浸上两种酶，葡萄糖脱氢酶和过氧化物酶，再加上一种叫做**联邻甲苯胺**的有机物质。把这种带黄色的纸条浸入病人的尿中，然后再暴露在空气中。如果尿中有葡萄糖，葡萄糖就会在葡萄糖脱氢酶的催促下和空气中的氧结合，在结合过程中，形成过氧化氢；接着，纸条上的过氧化物酶使过氧化氢和联邻甲苯胺结合，形成一种深蓝色的化合物。简单地说，如果把这种带黄色的纸条浸入尿中而变蓝，就很可能是糖尿病。

尿中一旦开始出现葡萄糖，糖尿病的病情就相当严重了。最

好能够在葡萄糖越过肾阈以前,通过检查血液中的葡萄糖水平,早些发现糖尿病。现在普遍使用的是**葡萄糖耐量试验**。这种方法是,先让一个人食用葡萄糖,等葡萄糖水平提高以后,再测定血液中葡萄糖水平的下降速率。在正常的情况下,胰腺会相应地分泌出大量的胰岛素。在健康人的体内,糖的水平会在两个小时内下降到正常水平。如果这种高水平保持 3 个小时或更长的时间,则表明胰岛素反应迟缓,这个人可能处于糖尿病的早期阶段。

胰岛素可能与控制食欲有某种关系。

首先,我们都具有某些生理学家所说的**食欲中枢**,它可以像调节火炉的恒温器一样调节我们的食欲。如果一个人的食欲中枢定得过高,他就会发现自己摄入的热量总是大于消耗的热量,除非他能够努力地自我控制,但迟早会累得精疲力竭。

20 世纪 40 年代初期,一位生理学家兰森指出,把动物的丘脑下部的一部分破坏以后,动物就会长得肥大。这个地方似乎就是食欲中枢的所在地。到底是什么东西控制着它的活动呢?人们马上想到饥饿的折磨。胃里没有食物的时候,会出现波浪状的收缩,食物进入胃后,这种收缩就停止了。大概这种收缩是给食欲中枢传递信号的吧。事实并非如此,把胃切除以后对食欲的控制没有任何干扰。

哈佛大学的 J. 迈耶提出了一种更加微妙的意见。他认为,食欲中枢和血液中的葡萄糖水平相呼应,当食物被消化以后,血液中的葡萄糖水平缓慢地下降。当下降到低于某一水平时,食欲中枢被打开;如果一个人响应食欲由此提出的要求,吃了食物,他血液中的葡萄糖水平很快升高,食欲中枢就会随之关闭。

甾类激素

到目前为止,我们所讨论的激素或者是蛋白质(如胰岛素、胰

高血糖素、肠促胰液肽和甲状腺素),或者是修饰了的氨基酸(如甲状腺素、三碘甲状腺素以及肾上腺素)。现在我们要讨论的是一组完全不同的激素——甾类激素。

这些激素的故事是从1927年开始的,当时两位德国生理学家宗代克和阿什海姆发现,孕妇尿的提取物注射到雌鼠体内时,会激起它们的性欲冲动。(这一发现导致了对妊娠的第一个早期检验法。)事情很快就清楚了,宗代克和阿什海姆发现了一种激素——具体地说,一种**性激素**。

在不到两年的时间里,德国的布特南特和圣路易大学的多伊西就分离出了这种激素的纯样品,并命名为**雌酮**(源自于"动情期"一词,专指雌性的性欲冲动)。它的结构很快就被研究了出来,原来它是一种具有胆固醇四环结构的类固醇(即甾体)。由于在发现性激素方面的贡献,布特南特被授予1939年的诺贝尔化学奖。他同多马克以及库恩一样,被迫拒绝受奖,直到纳粹统治灭亡以后,才于1949年接受了这项荣誉。

雌酮现在只是我们知道的叫做**雌激素**的一组雌性激素中的一种。1931年,布特南特分离出了第一种雄激素,他把这种激素命名为**雄酮**。

正是性激素的产生控制着青春期发生的各种变化,例如男性胡子的生长和女性胸部的发育。女性复杂的经期也依赖于多种雌酮的相互作用。

女性的性激素主要是在卵巢中产生的,男性的性激素主要是在睾丸中产生的。

性激素并不是惟一的甾类激素。第一个甾类非性化学信使是在肾上腺发现的。事实上,这些肾上腺都是双重腺体,是由叫做**肾上腺髓质**的内层腺体和叫做**肾上腺皮质**的外层腺体组成的。肾上腺素是由髓质产生的。1929年,研究人员发现,动物的肾上腺被

切除以后，肾上腺皮质的提取物可以使动物存活——切除肾上腺本来是100%致命的手术。于是，人们立即开始了对**皮质激素**的研究。

这项研究有一个实际的医疗理由支持着。著名的**艾迪生氏病**(英国医生艾迪生1855年首先描述了这种病)的病征和切除肾上腺所引起的病征非常相似，显然，艾迪生氏病一定是由于肾上腺皮质不能产生激素而引起的。或许注射皮质激素可以治疗艾迪生氏病，正如胰岛素能够治疗糖尿病一样。

有两个人在这项研究中非常突出，他们是赖希施泰因(他后来合成了维生素C)和肯德尔(在将近20年以前，他首先发现了甲状腺素)。到20世纪30年代后期，研究人员已经从肾上腺皮质中分离出了20多种不同的化合物，其中至少有4种表现出激素的活性。肯德尔把这些物质命名为化合物A、化合物B、化合物E、化合物F等等。所有的皮质激素都被证明是甾体。

由于肾上腺是非常微小的腺体，因此需要无数个动物的肾上腺才能提供足够的皮质提取物供一般使用。很明显，惟一合理的解决办法就是尝试用人工来合成这种激素。

第二次世界大战期间，一个虚假的谣传推动了皮质激素研究的全速进展。当时有人报告说，德国人在阿根廷屠宰场购买了所有的肾上腺，以制造皮质激素，来提高他们的飞行员高空飞行的效能。实际上完全没有那么回事，但这一谣传却起了促使美国政府的作用。美国政府把人工合成皮质激素方法的研究列到高度优先的地位，甚至高于给予合成青霉素或抗疟疾药物的优先地位。

1944年肯德尔合成了化合物A；第二年，默克公司开始大量生产。令人失望的是，这种化合物证明对艾迪生氏病没有什么价值。后来默克公司的生物化学家萨雷特经过艰苦的劳动合成了化合物E，合成的过程包括37个步骤，这种化合物后来被称为**可的**

松。

化合物 E 的合成在医学界没有立即引起什么震动，当时大战已经结束；皮质激素对德国飞行员产生奇效的说法已被证明是谣言；大有成功希望的化合物 A 也终于失败。而后，在完全没有预料的时刻，化合物 E 突然制出来了。

梅奥医院的医生亨奇用了 20 年的时间研究**类风湿性关节炎**，这是一种非常疼痛、有时会导致瘫痪的疾病。亨奇推测体内具有对抗这种疾病的天生机制，因为在妊娠期间或在患黄疸病期间，这种关节炎的病情往往会减轻。他想不出黄疸和妊娠具有什么共同的生物化学因素。他试着注射胆色素（黄疸中含有物质）和性激素（妊娠时含有的物质），但两者都无助于他的关节炎病人。

可是，各种证据都表明，皮质激素是可能的答案。1944 年，已有相当数量的可的松可以买到，亨奇就试用可的松。确实有效！它不能根治这种病，正如胰岛素不能根治糖尿病一样，但它似乎可以缓解这种病的症状，对于关节炎病人来说，仅这一点就谢天谢地了。此外，后来证明可的松对艾迪生氏病也有帮助，而化合物 A 却完全无效。

由于他们在皮质激素方面的工作，肯德尔、亨奇和赖希施泰因分享了 1950 年的诺贝尔医学与生理学奖。

不幸的是，可的松对身体功能的影响是多样的，以至于经常产生副作用，有些还相当严重。因此，除非在明确而紧迫需要的情况下，医生们不愿意使用皮质激素疗法。为了避免严重的副作用，现在人们使用的是与皮质激素有关的合成物质（有的在皮质激素的分子里插入一个氟原子），但是现在发现都没有达到比较理想的程度。到目前为止，人们发现的活性最大的一种皮质激素是**醛固酮**，它是由赖希施泰因和他的同事们 1953 年分离出来的。

脑下垂体和松果体

是什么东西控制着所有这些种类不同而作用强大的激素呢？所有的激素(包括我们还没有提到的一些激素)在体内都能够产生激烈的作用,然而它们配合协调,使身体保持平稳地发挥功能而不打乱节奏。看起来一定是在某个地方有一个指挥指导着它们的合作。

最接近答案的就是**脑下垂体**,悬吊在脑底部的一个小腺体,但它并不是脑的一部分。

脑下垂体有三个部分:前叶、后叶以及连接两叶的小桥(在某些动物中)。前叶是最重要的,因为它产生至少6种似乎专门作用于其他内分泌腺的激素(全都是小分子的蛋白质)。换句话说,脑下垂体的前叶可以看成是一个交响乐队的指挥,它使其他腺体按时演奏并保持和谐。(有趣的是,脑下垂体正好位于颅腔的中央,好像有意地把它安放在一个最安全的地点。)

脑下垂体的信使之一是**促甲状腺激素**(TSH),它根据反馈的信息刺激甲状腺,就是说,它促使甲状腺产生甲状腺激素。血液中甲状腺激素的浓度上升反过来抑制脑下垂体产生促甲状腺激素,而当血液中促甲状腺激素下降又会减少甲状腺的分泌,于是又刺激脑下垂体产生促甲状腺激素,就这样反复循环保持一种平衡。

促肾上腺皮质激素(ACTH)以同样的方式维持皮质激素的水平。如果把额外的促肾上腺皮质激素注射到体内,它就会提高这些激素的水平,从而可以达到和注射可的松本身同样的目的。因此人们已经使用促肾上腺皮质激素来治疗类风湿性关节炎。

因为促肾上腺皮质激素和关节炎紧密相关,所以对促肾上腺皮质激素结构的研究充满了活力。到20世纪50年代初期,它的分子量就被测定为20 000,但是它很容易分解成比较小的片段,这些片段仍具有完全的活性。其中有一个片段是由39个氨基酸的

链组成的，它的结构已被全部弄清，同时还发现，即使更短的链也是有效的。

促肾上腺皮质激素能够影响动物的表皮色素沉着，甚至人的皮肤也会受影响。人患有产生促肾上腺皮质激素过多的疾病时，皮肤就会变黑。人们已经知道，在低等动物特别是两栖类动物中，存在着专门使皮变黑的激素。1955 年在人的脑下垂体产物中终于发现了这种激素，被称为**促黑激素**，通常简写成 MSH。

促黑激素的分子已经基本上搞清楚了。人们有兴趣地注意到，促黑激素和促肾上腺皮质激素有一个共同的七氨基酸顺序，这表明结构和功能有密切的联系(实际上确实如此)。

在谈到色素沉着的时候，我们不妨谈一谈**松果体**。它是一个圆锥体，同脑下垂体一样，附着在脑的底部。因为它的形状像一个松果，所以命名为松果体。虽然松果体看上去像腺体，但在 20 世纪 50 年代以前没有找到它所分泌的激素。后来，发现促黑激素的研究人员终于用 20 万个牛的松果体分离出了一种微量的物质，把这种物质注射到蝌蚪体内，可以使蝌蚪的皮颜色变浅，这种激素被命名为**降黑素**，但它对人的黑色素细胞好像没有任何作用。

脑下垂体分泌的激素还没有全部列出。有两种垂体激素控制着有关生殖器官的生长，它们是**促黄体素**(ICSH)和**促卵泡激素**(FSH)。此外，还有一种**催乳激素**，刺激乳汁的产生。

催乳激素还刺激其他妊娠后的活动。给年青的雌鼠注射这种激素后，它们就忙于筑巢，尽管它们还没有生产。另一方面，在雌鼠快要生产以前把它们的脑下垂体切除，它们则表现出对幼鼠不感兴趣。于是报纸立即把催乳激素称做“母爱激素”。

这些与性组织有关的垂体激素合在一起统称为**促性腺激素**。这类激素中还有一种物质是由胎盘产生的(胎盘是用以把营养成分从母体的血液传送给发育中的胎儿的血液，再以相反的方向把

废料从胎儿传送给母体的一种器官)。胎盘激素叫做**人绒膜促性腺激素**(HCG)。在开始怀孕后的 2～4 周,人绒膜促性腺激素产生的量相当大,因此会在尿中出现。如果把孕妇的尿的提取物注射到小白鼠、青蛙或兔子体内,就会发现明显的效应,利用这种方法可以在非常早的阶段测定出是否已经怀孕。

前叶垂体激素中最引人注目的是**促生长激素**(STH),更普及的名称是**生长激素**。它的作用是普遍的,即刺激整个身体的生长。一个小孩如果不能产生足够的这种激素供应,他就会成为一个侏儒;如果产生的过多,他就会长成一个巨人。如果一个人成熟以后(即骨骼已完全形成并且已经硬化)才发生这种生长激素分泌过多的病征,就会使只有肢体的末端如手、脚和下巴等长得特别大,这种情形叫做**肢端巨大症**。1970 年李卓浩合成的就是这种生长激素(他在 1966 年首先确定了这种激素的结构)。

脑的作用

激素作用缓慢。它们必须先由腺体分泌出来,再由血液运送到靶器官,而且还要蓄积到某一适当的浓度。神经作用则非常快。慢速控制和快速控制都是身体在各种情况下所需要的,有两个系统作用要比只有两者之中的任何一个功效高。

脑下垂体是一种主要腺体,它非常靠近脑,人们怀疑它几乎就是脑的一部分。脑下垂体通过一个狭长的茎状体附着在**丘脑下部**。自 20 世纪 20 年代以来,人们一直怀疑脑下垂体和丘脑下部有着某种联系。

1945 年,英国生物化学家哈里斯提出,丘脑下部的细胞产生的激素,可以由血液直接传递给脑下垂体。这些激素已被探测到并命名为**释放因子**。每一种特殊的释放因子会使前叶垂体产生其中的一种激素。

这样，在某种程度上，神经系统能够控制激素系统。事实上，脑不仅越来越像一个排列复杂的神经细胞的“交换台”，而且可能被证明是一个同样复杂的高度专门化的化工厂。

例如，脑含有某些接受神经冲动的感受器，在通常的情况下，通过产生痛感而作出反应。如果把麻醉剂，如吗啡和可卡因，附着在感受器上，就会感觉不到疼痛。

有些时候，人们在正常情况下会感觉到的疼痛，在情绪激动时却感觉不到，此时一定是某种天然化学物质阻碍了痛觉感受器。1975 年，在一些实验室里从动物的脑中发现并分离出了这类化学物质。它们是一些肽，即一些短链氨基酸，最短的是**脑啡肽**，只有 5 个氨基酸组成，比较长的是**内啡肽**。

情况可能是这样的：脑快速地产生大量不同的肽，每种肽都会以某种方式影响脑的作用，这些肽既容易产生，又容易分解。要了解脑，看来必须从化学方面和电学方面进行深入的研究。

前列腺素

在离开激素以前，我还要谈一组激素，这组激素近年来日益突出，它们既不是由氨基酸也不是由类固醇核组成的。

在 20 世纪 30 年代，瑞典生理学家奥伊勒-凯尔平从前列腺中分离出一种脂溶性物质，少量使用可以降低血压并使某些平滑肌收缩。（奥伊勒-克尔平是诺贝尔奖金获得者奥伊勒-凯尔平的儿子，由于他对神经传导方面的研究，1970 年也和别人分享了诺贝尔医学与生理学奖。）奥伊勒-克尔平把这种物质命名为**前列腺素**，因为它是从前列腺中分离出来的。

后来证明，前列腺素不是一种物质，而是多种物质。现在已经知道的前列腺素至少有 14 种。它们的结构已经研究清楚，人们发现它们都与多不饱和脂肪酸有联系。这可能是因为身体合成前列

腺素时需要从食物中摄取这些自己不能制造的脂肪酸。所有这些激素对血压和平滑肌的作用都相似,但程度不同。它们的功能目前还没有完全搞清楚。

激素的作用

激素是怎样工作的呢?

看来可以肯定,激素并不像酶那样作用,至少,没有发现任何激素能直接催化一种特异的反应。另一个想法是,一种激素即使其本身不是一种酶,它也对一种酶起作用:促进或抑制一种酶的活性。所有的激素中研究得最彻底的是胰岛素,而胰岛素似乎与**葡萄糖激酶**有一定的关系。葡萄糖激酶是葡萄糖转化成糖原所必需的。前叶垂体和肾上腺皮质的提取物可以抑制这种酶,而胰岛素能够解除这种抑制。因此,血液中的胰岛素可能起着活化这种酶的作用,从而加速葡萄糖转化为糖原的过程。这会有助于说明胰岛素是怎样降低血液中的葡萄糖浓度的。

然而,胰岛素的存在与否对代谢的影响是多方面的,所以很难说明这一种作用是怎样引起糖尿病人体内化学存在的所有异常现象的。(对其他激素来说也是这样。)于是生物化学家们倾向于寻找一些更总体和更全面的作用方式。

有人提出,胰岛素以某种方式起着使葡萄糖进入细胞的作用。根据这种学说,糖尿病患者血液中之所以含有高葡萄糖水平,只是因为糖不能进入他的细胞,因而他不能利用它。(在解释糖尿病人难以满足的胃口时,我前面提到的那个 J. 迈耶曾经提出,这是因为病人血液里的葡萄糖很难进到食欲中枢的细胞里去。)

如果胰岛素帮助葡萄糖进入细胞,那么,它一定以某种方式作用于细胞膜。到底是怎样作用的呢?细胞膜是由蛋白质和脂肪物质组成的。我们可以推测,作为一种蛋白质分子的胰岛素,可能以

某种方式改变细胞膜蛋白质上氨基酸侧链的排列，从而为葡萄糖（也可能为许多其他物质）把门打开。

如果我们对这种一般性的推测表示满意，我们可以进一步假设，其他的激素也作用于细胞膜，每种激素都有自己的作用方式，因为每种激素都有其特殊的氨基酸排列。同样，甾类激素，如脂肪物质，可能也作用于细胞膜的脂肪分子，打开或关闭某些物质的门。显而易见，通过帮助一种给定物质进入细胞或阻止它进入细胞，一种激素会对细胞内进行的活动产生激烈的作用。它可以给一种酶提供大量的作用底物和剥夺另一种酶的作用底物，从而控制细胞的产生物。假定一种激素可以决定一些不同的物质进入或不进入细胞，我们就可以明白，一种激素的存在与否为什么能够深刻地影响代谢，就像实际上胰岛素的情况所表明的那样。

上面我描绘的这幅图画是吸引人的，但又是模糊的。生物化学家们更想知道，在一种激素的影响下细胞膜上发生的精确反应。这方面的了解起始于 1960 年发现的一种特殊核苷酸，它很像腺苷酸，只是磷酸基连接在糖分子的两个不同的地方，它的发现者萨瑟兰和拉尔给它命名为**环化腺嘌呤单核苷酸**（cAMP）。由于这项研究萨瑟兰获得 1971 年的诺贝尔医学与生理学奖。

环化腺嘌呤单核苷酸一被发现，人们就发现它广泛地分布在组织中，并发现它对多种不同酶的活性和细胞过程具有显著的作用。环化腺嘌呤单核苷酸是通过位于细胞表面的**腺苷酸环化酶**作用于普遍存在的腺苷三磷酸（ATP）而产生的。这种酶可以有许多种，每一种都在一种特定的激素存在的情况下产生活性。换句话说，激素的表面活性可以使腺苷酸环化酶活化，从而导致环化腺嘌呤单核苷酸的产生，环化腺嘌呤单核苷酸再改变细胞内酶的活性，使细胞产生许多变化。

毫无疑问，这些过程的细节是非常复杂的，除了环化腺嘌呤单

核苷酸外可能还有其他化合物（很可能有前列腺素）参加作用，但这是一个开端。

死　亡

现代医学在治疗感染、癌症和营养缺乏病方面所取得的进展，增加了任何一个人长寿的可能性。这一代出生的人有一半可以期望活到70岁高龄（只要不发生核战争或其他重大灾害）。

古时候活到老年的人非常稀少，这无疑是当时对老年人特别尊敬的一个原因。例如，在荷马史诗**《伊利亚特》**中，就着重描写了“年老的”特洛伊国王普里阿摩斯和特洛伊战争中的贤明长老内斯特。内斯特被描写成活了三代的人，但是当时的平均年龄不会超过20～25岁，所以内斯特活了三代也不一定超过70岁。那时可以说是高龄了，但用现在的标准来看并不是特别的老。因为在荷马时期内斯特给人们留下了这种长寿的印象，后来的神话学家们猜测，他大概活了200来岁。

随便再举一个例子。莎士比亚的历史剧**《理查二世》**是用这样的台词开始的：“高龄的约翰·刚特，德高望重的兰开斯特。”根据当时的记录，约翰·刚特的同代人也认为他是一个年纪很大的人。当人们知道约翰·刚特只活了59岁时，一定会有点吃惊。我们自己历史上的一个有趣的例子就是美国总统林肯，不知是因为他的胡子，还是因为他那阴郁而削瘦的脸，或者是因为当时的歌曲中把他称做“父亲亚伯拉罕”，在他死的时候大部分人都认为他是一个老年人。这只是人们的愿望而已，他遇刺时只有56岁。

所有这些并不是说在现代医学以前的年代里没有真正高龄的

老人。在古希腊，索福克勒斯，剧作家，活到 90 岁；伊索克拉底，雄辩家，活到 98 岁。5 世纪罗马的卡西奥多鲁斯谢世时 95 岁。威尼斯 12 世纪时的总督丹多洛活到 97 岁。文艺复兴时期的画家提香活到 99 岁。在路易十五时代，著名枢机主教黎塞留的侄孙黎塞留公爵活到 92 岁；法国作家丰特奈尔仅差 1 个月就满 100 岁。

这些强调说明这样一个问题，虽然在现今医学进步的社会里，平均预期寿命有了很大提高，但是最长的寿命期却没有提高。即使在今天，我们也只能期望极少数人达到或超过伊索克拉底和丰特奈尔的寿命；同时，我们也不能期望现在 90 岁以上的人能够以更大的活力参与生活事务。索福克勒斯 90 岁高龄后还在写他的伟大剧本；伊索克拉底也在创作他的伟大演说；提香在生命的最后一年仍从事绘画；丹多洛是一位不屈不挠的领袖，96 岁时还领导反抗拜占庭帝国的威尼斯战争。（在现代一些比较有活力的老年人中，我能想到的最好的例子是肖伯纳，他活到 94 岁；还有英国数学家和哲学家 B. 罗素，他在 98 岁谢世时仍很活跃。）

虽然今天可以活到 60 岁的人口比例比以前大得多，但是 60 岁以上的预期寿命比过去提高得很少。大都会生命保险公司估计，1931 年 60 岁的美国男性的预期寿命和 150 年以前基本相同。1931 年以来，抗菌素的出现使两性 60 岁的预期寿命提高了 2.5 岁。但是总的来说，尽管医学和科学取得这一切进展，老化还是像往常一样以几乎相同的速率和同样的方式侵袭着每一个人。我们还没有找到一种方法能够阻止人体机器逐渐衰弱直至最终毁坏。

动脉粥样硬化

如同其他形式的机器一样，首先损坏的是活动部件。循环系统——跳动的心脏和动脉——从长远的观点来看是人类的最大弱点。在征服早死的进程中，这个系统的疾病已被提高到头号杀手

的地位。在美国,死亡的人数中有一半是由于循环系统的疾病;在这些疾病中,单动脉粥样硬化就占 1/4。

动脉粥样硬化(源自希腊语,意思是“粉状的硬东西”)的特征是,颗粒状的脂肪沿着动脉的内表面沉着,从而迫使心脏更加费力地工作,以推动血液以正常的速度流过血管。于是血压上升,小血管的应力随之增加,因而可能导致小血管破裂。如果这种情况发生在脑部(一个特别脆弱的区域),人就会得脑溢血,也叫**中风**。有时血管的破裂很小,只引起轻微和暂时的不适,甚至完全觉察不到,但是血管的大块破裂则会导致瘫痪或迅速死亡。

给心脏本身供氧的**冠状动脉**特别容易患粥样硬化而变窄。由此造成的心脏缺氧会引起**心绞痛**而终于致死,虽然并不一定很快致死。

动脉的粗糙和变窄还会导致另一种危险。因为血液沿着变粗糙的血管内表面流动,摩擦增加,所以更容易形成血块,而血管变窄增加了血块完全阻止血液流动的可能性。为心肌提供养料的冠状动脉一旦堵塞(冠状动脉血栓形成),会造成几乎立即死亡。

到底是什么引起在动脉壁上形成沉积物的呢?对于这个问题医学科学家们有很多争论。胆固醇看来肯定参与了这一过程,但它到底是怎样参与的仍远未搞清。人的血液的血浆中含有**脂蛋白**,它是由胆固醇和结合到某些蛋白质上的脂肪物质组成的。构成脂蛋白的一些成分在血液中保持一恒定的浓度,不论在健康或患病、饭前或饭后等情况下,都是如此;另一些成分有波动,饭后会上升。还有一些成分胖人特别高,有一种富含胆固醇的成分,体重超重的人和患有动脉粥样硬化的人特别高。

动脉粥样硬化倾向于和高血脂一起发生,肥胖症也是如此,体重过重的人比瘦人更容易患动脉粥样硬化。糖尿病患者的血脂一般都比较高,因此也比一般人更容易患动脉粥样硬化。而且,说得

更圆满一点，胖人糖尿病的发病率比瘦人高得多。

因此，那些活大年纪的人常常是瘦小的人，这不是偶然的。身材高大肥胖的人可能生活得很愉快，但是他们通常不容易活很大年纪。（当然，总有一些例外，人们可以举出丘吉尔和胡佛等人，他们都不瘦却度过了90岁诞辰。）

现在，关键的问题是，能否通过饮食来促进或防止动脉粥样硬化？动物脂肪，如牛奶、鸡蛋和黄油，含胆固醇特别高；植物脂肪则完全没有胆固醇，而且，植物脂肪的脂肪酸主要是不饱和型的，据说能够对抗胆固醇的沉着。1984年，对这些物质的研究似乎确定性地证明，食物中的胆固醇与动脉粥样硬化有关，于是很多人便食用**低胆固醇食物**，以期阻止血管壁变厚。

当然，血液中的胆固醇并不一定是从食物的胆固醇中衍生来的。人体能够毫不费力地制造它自己的胆固醇，而且一直在制造着，即使你食用完全没有胆固醇的食物，在你的血液脂蛋白中仍会有大量的胆固醇供应。因此，似乎可以合理地猜想，问题不在于有没有胆固醇的存在，而在于一个人有没有使胆固醇在它危害最大的地方沉着的倾向。可能存在着一种过量地制造胆固醇的倾向。生物化学家们正在寻找能够抑制胆固醇形成的药物，希望这些药物在易患这种病的人体内能够阻止动脉粥样硬化的发展。

同时，**冠状动脉分流手术**自1969年引用以来已经变得非常普遍而且非常成功。这种手术是把病人体内的其他血管连接在冠状动脉上，使血液能够自由地通过旁路绕过动脉粥样硬化区域给心脏供应充足的血液。这种手术似乎并不能延长一个人总的预期寿命，但它可以使一个人在最后的岁月里免除心绞痛的痛苦，而这就相当不错了。

老化

但是,即使不患动脉粥样硬化的人也要变老。老化是一种普遍发生的疾病,没有什么能够阻止滞缓衰弱、骨质增脆、肌肉无力、关节僵硬、反应减慢、视力模糊和思维迟钝。这些现象发生的速率有些人快些,有些人慢些,但不论快慢,这个过程是不可抗拒的。

或许我们对此不应该过分地抱怨,即使老化和死亡必定到来,它们来得也特别缓慢。总的来说,哺乳动物的生命期与它们的大小有关。最小的哺乳动物鼩鼱可以活 1 年半,老鼠可以活 4～5 年,兔子可以活 15 年,狗可以活 18 年,猪可以活 20 年,马可以活 40 年,而大象能活 70 年。诚然,动物越小它的生活节奏就越快,例如,它的心跳就越快。鼩鼱每分钟心跳 1 000 次,而大象每分钟心跳 20 次。

事实上,一般的哺乳动物似乎充其量只能活到心跳 10 亿次。对这个一般的规律来说,人类本身是一个最令人惊讶的例外。虽然人比马小得多,比大象小得更多,但人能够比任何哺乳动物都活得更长。即使我们不考虑边远地区关于老年人的传说,因为那些地方没有保存精确的记录,我们也有寿限达 115 岁的相当确凿的证据。脊椎动物中惟一超过这一记录的,无疑是一些大个的行动缓慢的乌龟了。

人的心跳大约是每分钟 72 次,正好是所预期的与人同样大小的哺乳动物的心跳次数。世界上技术发达地区的平均预期寿命为 70 岁,在这 70 年中,人的心脏要跳动 25 亿次;活到 115 岁时,心脏已跳动大约 40 亿次。即使我们最近的亲缘,巨型猿类,也达不到这个数字,甚至接近不了这个数字。比人大得多的大猩猩最多能活 50 年。

毫无疑问,人的心脏比所有其他动物的心脏工作期限都长。(乌龟的心脏可能持续的时间更长,但它的生活远不如人的激烈。)

我们还不知道为什么人能活这么长的时间;但是作为人来说,我们更关心的问题是,为什么我们不能活得更长一些。

那么,到底什么是老化呢? 到目前为止,只有一些猜测。有些人认为,人体抵抗感染的能力随着年龄的增长而减低(减低的速率决定于遗传);另一些人猜测,各种**残渣**在细胞内积累起来(同样,积累的速率也因人而异)。这些残渣是正常细胞反应的副产物,细胞既不能把它们毁掉也不能把它们排除,天长日久便慢慢地在细胞内沉积起来,直到最后严重地干扰细胞的代谢,使细胞停止执行功能。按照这种学说,当有足够的细胞失去作用时,人就会死亡。这种观念的另一种说法认为,蛋白质分子本身变为残渣,因为蛋白质分子间出现交叉连接,所以它们变硬变脆,最后使细胞机器停止运转。

如果是这样的话,那么"死亡"就是细胞机器内部的问题。卡雷尔曾使一片胚胎组织存活了几十年,这似乎可以使人们认为细胞本身可能是不死的:只有亿万个个体细胞结合成组织才会带来死亡。也就是说,是组织死亡,而不是细胞死亡。

显然不是这种情况。现在人们认为,卡雷尔在培养组织的过程中,可能不知不觉地把新鲜细胞引入了他的制剂。用严格排除引入新鲜细胞的隔离的细胞或细胞群所做的实验看来可以证明,细胞不可避免地要老化,其分裂总计不会超过 50 次——大概是通过关键细胞成分里的不可逆变化而老化的。

但是,人的寿命期特别长。会不会是人的组织已经发展出逆转或抑制细胞老化效应的方法,而且这些方法比任何其他哺乳动物的方法更为有效? 此外,鸟类比起同样大小的哺乳动物来活的时间要长得多,尽管鸟类的代谢比哺乳动物的代谢快得多,这会不会也是由于逆转或抑制老化的优异能力?

如果一些生物比其他生物更能阻止老化,似乎没有理由认为,

人类不能学会并改进这种方法。这样,老化不就可以治疗了吗?人类不就可以发展出一种能力,以享受大为延长的寿命期甚至长生不老吗?

有些人存在着这方面的笼统的乐观主义情绪。过去医疗上的奇迹似乎预示着未来无限奇迹的来临。如果是这样的话,生活在一个不能治疗癌症、关节炎或老化的时代该是多么的遗憾!

因此,在20世纪60年代末期,出现了一种在病人临死的时候把人体冰冻起来的倾向,以便使细胞机器尽可能完整地保存下来,直到他的病可以治愈的那一天才解冻。那时他(或她)就会复活,而且会使他(或她)健康、年轻、愉快。

诚然,目前没有迹象表明,任何死人能够复活,或者任何冰冻起来的身体(即使在冰冻时仍活着)能够在解冻后复活。这种做法(**人体冷冻学**)的支持者也没有充分注意到大批尸体复活可能引起的混乱。人对长生不死的追求胜过一切。

实际上,把人体完整地冰冻起来,即使完全可能使他们复活,也没有什么意义,只是浪费而已。目前生物学家们已经非常幸运地从各类特化细胞中发展出整个的生物体,皮肤细胞或肝细胞说到底具有其他细胞所具有的同样的遗传组成,也就是原始的受精卵所首先具有的遗传组成,之所以将细胞特化是因为各种基因受到不同程度的抑制或活化成为不同的细胞。但是,是否可以解除基因的抑制或活化作用呢?能否使特化的细胞变成和一个受精卵等同的细胞,并重新发展成一个生物体——从遗传的观点来说,一个和以前它们作为组成部分的生物体相同的生物体呢?无疑,这种方法(叫做**克隆**)为一种基因的保存提供了更大的希望(如果不考虑记忆或人格的话)。这样就不必冰冻整个尸体,只要切断一个小脚趾冰冻起来就可以了。但是,我们真的希望长生不死吗?不论是通过人体冰冻法,或是通过克隆法,还是通过简单地逆转每个

人老化现象的方法。几乎没有人不乐意接受长生不死，当然要比较地没有疼痛、痛苦和老化效应。但是，假定我们都长生不死，情况又会如何呢?

很清楚，假如地球上很少或没有死亡，就必然很少或没有出生，这就意味着一个没有婴儿的社会。可能这不是致命的问题：一个以长生不死为自我中心的社会在完全排除婴儿的情况下也不会停止。

但是，那样能行吗？那将是一个由同样的脑子组成的社会，人们有着同样思维，以同样的方式按着老一套循环不已。必须记住，婴儿拥有的不仅是年轻的脑子，而且是**新的**脑子。每一个婴儿(除同胎多生外)都具有不同于以前生存过的任何人类个体的遗传组成。正是由于婴儿，才不断地有新的遗传组合注入人类，从而开辟了优化和发展的道路。

降低出生率水平是明智的，但是我们应该完全不让婴儿出生吗？消除老年的痛苦和不适是令人愉快的，但是我们应该创造一个由老人组成的人种吗？他们年迈、疲倦、厌烦、单调，而且从不接受新的更好的东西。

或许长生不死的前景比死的前景更为糟糕。

(王秀霞　译)

第十六章 物 种

种类繁多的生物

如果想要充分了解人类本身,就必须了解人和地球上其他生物的关系。

在原始文化时期,往往认为人和其他生物的关系很密切。许多部落把某些动物当作祖先或有亲缘的手足,因此,杀害或吃掉这些动物,都是犯罪行为,除非是在特殊祭典仪式时才可例外。像这样把动物作为神明,就是所谓的**图腾**(来自美洲印第安语)。在原始文化以后的文化里,也还有图腾的现象,埃及兽头人身的神像,以及现代印度人对牛、猴的尊敬,可能都是图腾的遗风。

此外,西方文化很早就把人和其他低等动物明显地区分开来,这从希腊和希伯来人的观念中,便可以清楚看出,而《**圣经**》中的记载则强调亚当是上帝依照他自己的形象特意创造出来的(《**创世记**》第1章第26节)。虽然如此,《**圣经**》中仍然证实了人对低等动物极有兴趣。《**圣经**》中的《**创世记**》提到,亚当原先在伊甸园中自由自在地过日子时,上帝赋予他的任务就是给各种飞禽走兽命名。

对此初看起来,似乎并非难事,也许一两个小时内就可以完成了。《**圣经**》里所记载的诺亚的方舟里,每种动物均保存两个,即一个公的,一个母的。如果将《**圣经**》中所谓的"肘"——由手肘到中

指尖的距离——换算成现在的尺寸，就是约 46 厘米，那么方舟的尺寸大约是：长 137 米，宽 23 米，高 14 米。希腊的自然哲学家也把生物的世界想得很有限，亚里士多德仅能列出 500 种左右的动物，而他的学生泰奥弗拉斯托斯，是古希腊最杰出的植物学家，也只能列出 500 种左右的植物。

如果把各类大象都看成是同一个种的，各种骆驼也是一个种，跳蚤也是一个种，那么古希腊的博物学家及哲学家列出来的动、植物的种类数就比较合理了。然而，事实上却比这种说法复杂得多，博物学家了解到，生物乃是根据能否互相交配来加以区别的。印度象和非洲象不能互相交配，因此就应该看成是两种不同的象；同样，单峰骆驼（也叫阿拉伯骆驼）和双峰骆驼也是不同种的两种骆驼；至于跳蚤这类咬人的小昆虫，竟然可分为 500 种！

几个世纪以来，不论在陆地、空中或海洋，随着新地区的考察，生物学家不断地发现新种，使动物及植物数目，如天文数字般快速地增长。在 1800 年之前，已知道有 7 万种，今天却已超过 150 万种，其中 2/3 为动物，1/3 为植物，而生物学家认为还会不断有新种被发现。

甚至连大型的动物新种也在某些较特殊的地区被发现。霍加坡是一种类似长颈鹿而大小像斑马的反刍类动物，直到 1900 年才在非洲刚果丛林中被发现。甚至 1983 年在印度洋某岛上还发现了一种新品种的信天翁，同时在亚马孙丛林中发现了两种新品种的猴子。

在探测困难的深海里，相信还潜藏有许多未被发现的物种。最大的无脊椎动物——巨大乌贼，直到 19 世纪的 60 年代才被证实存在，而腔棘鱼也是到 1938 年才被发现的。

至于小动物如昆虫、蠕虫等等，几乎每天都有新种被发现。据保守的估计，目前地球上的生物约有 1 000 万种。所有曾经出现

过的生物种类，约有90%已经绝种，如果这个估计是真的话，那么在地球史上的某一时期，应存有约一亿种的生物。

生物的分类

如果不依据某些关系把生物加以分门别类，那么，生物界中那么多的种类，将会多么混乱！首先，我们可以将生物分为几个族群：例如猫、虎、狮子、美洲豹等等和猫相似的动物，都归为**猫科**；同样，狗、狼、狐狸、胡狼、土狼则划分为**犬科**，以此类推。依据明显而又很普通的标准，可以继续把动物分为肉食类和草食类两大类。古人也根据生物的栖所来分类，把所有生活在海中的都叫做鱼，所有在空中飞的都称为鸟。如果以这种标准来看，鲸便是鱼类中的一种，而蝙蝠则是鸟类了。事实上，鲸和蝙蝠的关系，比鲸和鱼或蝙蝠和鸟的关系都密切得多：鲸和蝙蝠两者都是胎生，而且鲸的呼吸器官是肺，而不是和鱼类一样用鳃来呼吸；蝙蝠身上长毛发，不像鸟类长羽毛。鲸和蝙蝠都归在哺乳类，凡是哺乳类都是胎生，并且用乳汁哺育幼儿。

最早试图建立分类系统的人是一位英国人，名字叫雷。他在17世纪时，就把当时书籍里的所有植物(大约1.86万种)予以分类，随后，他又按照他自己认为最合逻辑的分类系统，将所有动物分类。例如，他把开花的植物分为两群，即在种子中具有一个**子叶**的为一群，具有两个子叶的为另一群。子叶是种子胚内叶状的小瓣，因为它位于种子中的杯状空隙内，因此子叶的原文就是由希腊文“杯子”转变而来的。雷把具有一个子叶的植物，称为**单子叶植物**，有两个子叶的植物称为**双子叶植物**。这种分类方法(与早在2000年前泰奥弗拉斯托斯所建立的分类法相似)，至今仍在应用。在种子的胚中有一个子叶或两个子叶，这项差异本身并不重要，而重要的是在单子叶植物和双子叶植物之间有许多方面完全不同。

单子叶、双子叶就好比一个记号，它代表这两群植物的各方面差异。同样，哺乳类长毛发，而鸟类则生长羽毛，这项差异也只是两类动物之间许多差异中较为显而易见的记号而已。

虽然雷及其他学者曾提出不少分类的新构思，但是，真正奠定分类科学即**分类学**(这个字来自希腊文)基础的人，是一位叫林奈的瑞典植物学家。他建立的分类学，构思很有特色，所以大部分特征直到今天还保留着。1737 年林奈在一本名为《**自然分类**》的书中，提出他的分类系统，把相似的种归在**属**(拉丁文"族"、"类"之意)内，相关的属又归于**目**，相似的目又合为**纲**。每一个植物种，都给一个双名，即学名，它是由属名加上种名形成的[①](和姓名差不多，属名相当于姓，种名好比是名字)。照这样看，猫属的成员包括狮子、虎、豹等等。包含在犬这一属中的有狗、欧洲灰狼、美洲树狼等等。两种骆驼的名字分别为双峰骆驼及单峰骆驼(其中骆驼是属名，单峰和双峰是不同的种名)。

1800 年前后，法国博物学家居维叶在分类系统的纲之上又加设了**门**。一个门是由所有共同祖先的生物组成的。德国文学家及诗人歌德最强调这个概念，而且也解释得很清楚，例如，哺乳类、鸟类、爬行类、两栖类及鱼类，因为它们都具有脊椎骨，附肢不超过 4 个，红细胞内有血红蛋白，所以它们都属于同一个门。昆虫、蜘蛛、龙虾、蜈蚣属于同一门，蛤蚌、牡蛎、贝类又是另外一门。19 世纪 20 年代，瑞士植物学家康多尔把林奈的植物分类法加以改进。他分类时，不只依据外部形态，而是注重植物的内部构造及功能。

将在下面叙述的生命系统树的排列，是由最普通的分类到最特定的分类。

---

① 这种命名法就是直到现在在生物分类学上仍使用的"二名法"，也叫做"双名命名制"。——译注

首先由**界**谈起。很久以来，都认为只有两个界——植物界和动物界。然而对微生物的认识越清楚，就越觉得生物复杂，所以美国生物学家惠塔克认为，生物应该分为五个界。

按惠塔克的分类法，植物界和动物界都只限于多细胞生物。植物界的特征是：含有叶绿素（所以也叫做**绿色植物**），能进行光合作用。动物界的特征是：能摄取其他生物有机物为食物，并有消化系统。

第三个界是**真菌界**，也属多细胞，类似植物，但不含叶绿素，虽然也以其他生物有机物为食，但不像动物那样摄取食物，而是分泌一种消化酶，在体外把食物消化后再吸收到体内。

另外两个界都是由单细胞生物组成。**原生生物界**，这个名字是由德国生物学家海克尔于 1866 年创立。原生生物界包含真核生物。它们的细胞有的像动物细胞，例如原生动物中的变形虫、草履虫等皆是；有的像植物细胞，例如藻类。

最后一界叫做**原核生物界**，它包含一些单细胞原核生物，即细菌与蓝藻。病毒和类病毒并没有包括在上述的五个界中，这些是单细胞级以下的生物，似乎可以组成第六个界。

植物界按分类系统又分为两大门——苔藓植物门（包含所有苔类及藓类）和导管植物门（包括所有具输导汁液的导管的植物），后者几乎包括了所有我们平常所说的植物。

导管植物门下有 3 个纲：蕨纲、裸子植物纲和被子植物纲。蕨纲中的蕨类利用孢子来繁殖；裸子植物纲的种子裸露于外，包含常绿结球果的松柏类；被子植物纲，其植物的种子包裹在胚珠内，我们常见的熟知的植物，绝大多数都属于这个纲。

至于动物界，本书只列出重要的门。

海绵动物门：这门的动物是由多细胞集成的群体，生活在具有许多小孔的骨骼状结构里。它们就是海绵。海绵的每个细胞都表

现出特化的迹象，但仍保持一定的独立性，如用丝网挤压过滤，迫使其分成单细胞之后，它们又会聚合成新的海绵。

（一般来说，各门动物，其器官特化程度越完全，它的细胞或组织的独立性就越低。简单的生物被分成几块之后，各块仍能长成为完整的个体，这种过程叫做**再生**。稍为复杂一些的动物，切断之后可以再长出附肢。到了人类，再生能力已经相当低，我们可以再长出指甲，若手指断了就无法再长出完整的手指来。）

真正可称为多细胞动物的是腔肠动物门。它们的形状基本上都是杯状，具有两个**胚层**，一为**外胚层**（外皮），另一为**内胚层**（内皮）。最常见的腔肠动物是水母和海葵。

接着要讨论的动物都具有第三层胚层——**中胚层**。1845 年德国生理学家 J.P. 弥勒和雷马克，最先确立第三个胚层。由这三胚层组成动物的各种器官，甚至在最复杂的动物——人类的身上，也是一样。

中胚层是在胚胎发育时逐渐形成的。根据其形成的方式不同，又把动物分为两个**超门**。中胚层如果位于外胚层和内胚层之间，属于环节动物超门；只在内胚层内形成的，属于棘皮动物超门。

环节动物超门中最简单的是扁形动物门，它包含的不只有寄生的条虫，而且还有一些非寄生的动物。扁形动物具有收缩性的纤维，相当于原始的肌肉，也有头、尾和特别的生殖器官，并开始有排泄器官。另外，扁形动物是两侧对称的，身体的左右两半互为镜像。运动时头在前，感觉器官以及发育不全的神经集中在头部，因此，可以认为它们已开始有形成脑的趋势。

接着是线形动物门，在这门中最为人熟知的是钩虫。线形动物有原始的血液循环——一种在中胚层内的液体，细胞就浸泡在其中，食物和氧由血液传输给各个细胞。由于这样，线形动物的身体可以较厚，不像扁形动物那样薄，因为有血液可把养分送给内部

细胞。线形动物的肠道有两个开口，一个供食物进入，另一个将废物排出(与肛门相似)。

在这个超门下面的两个门都具有坚硬的外骨骼。其中一门是**腕足动物门**，它的背腹两面都有碳酸钙质的外壳，因为外形与古罗马油灯相似，故西方人常称这类动物为灯壳动物。另一门为**软体动物门**，这门动物的身体柔软，包在一个壳内，壳大多由左右两半组成，而不像腕足动物是由背、腹两面组成的，最熟悉的软体动物有蚌、牡蛎、蜗牛等。

环节动物超门中，最重要的一门就是环节动物门。它的特征是由很多体节形成，每个体节都可以作为一个单独的个体，每一节都有一对由主神经干分支出来的神经，有血管、排泄废物的小管以及肌肉等等。蚯蚓是最常见的环节动物，由于每一体节都有环状肌肉，当肌肉收缩时体节就会向外突起，事实上**环节动物**这个名字在拉丁文中就是“小圆圈”的意思。

很显然，分节可以使动物更有效地发生动作，因为动物界中最成功的种类，包括人类在内，都是分节的(不分节的动物中，以乌贼最为复杂而完美)。假如你感到奇怪，人怎么会分节呢？那么想想你的脊椎骨和肋骨，每一块脊椎或肋骨都代表一个体节，有自己的神经、肌肉和血管。

环节动物没有骨骼，身体软，而且没有什么防御能力；节肢动物门却既分节又有骨骼，骨骼分节和体节一致，骨骼有关节，所以运动很灵活。骨骼是由**壳多糖**组成，而不是由沉重不变的石灰石或碳酸钙组成的，所以既轻又坚韧。龙虾、蜘蛛、蜈蚣、昆虫等都属于节肢动物。可以说，节肢动物门是现存动物中最成功、种类最多的一门。它所包含的种类，比其他各门加起来还要多。

节肢动物门是环节动物超门中最主要的一门动物。另外一个超门是棘皮动物超门，它只包含两个重要的门：一个是棘皮动物

门,包括海星、海胆之类的动物。棘皮动物门和其他具有中胚层的动物的主要区别是,它是辐射对称,没有明确的头尾之分,但它在胚胎早期仍系两侧对称,到成体时才变成辐射对称。

第二个重要的门——脊索动物门,的确很重要,因为人类也包括在这一个门里面。

脊椎动物

脊椎动物和其他动物最明显的区别,就是它们有内骨骼(见图16-1)。除脊椎动物以外,其他任何动物都没有内骨骼。这种内骨骼还有一特征,就是构成脊柱。事实上,脊柱是非常重要的特征,所以习惯一般都将动物简单地分为脊椎动物和无脊椎动物。不过,还有一群过渡型的,就是以一根棒状软骨(一般称为脊索)来替代脊椎骨的位置(见图16-2)。脊索最早由K.贝尔发现,他也发现了哺乳类的卵。脊索看起来像是脊椎骨的原始物,甚至在哺乳类胚胎发育期也有出现,所以就将一些具有脊索的动物和脊椎动物归并为一类,总称为脊索动物门。这个名字是1880年由英国动物学家鲍尔弗所定的。门以下又分为4个亚门,其中3个只有脊索,第四个亚门才真正具有脊椎骨及内骨骼,称为脊椎动物亚门。

现存的脊椎动物分两个超纲,即鱼形超纲(包括所有鱼类)和四足超纲。

鱼形超纲又分为三个纲:

1. 无颚纲。这个纲的鱼类有真正的骨骼,没有四肢,无上颚,最熟知的代表是七鳃鳗。这种鱼类口圆形,像吸盘状,可以锉破鱼皮吸血。

2. 软骨鱼纲。这纲鱼类的骨骼全为软骨,似鲨类是最熟知的例子。

3. 硬骨鱼纲。

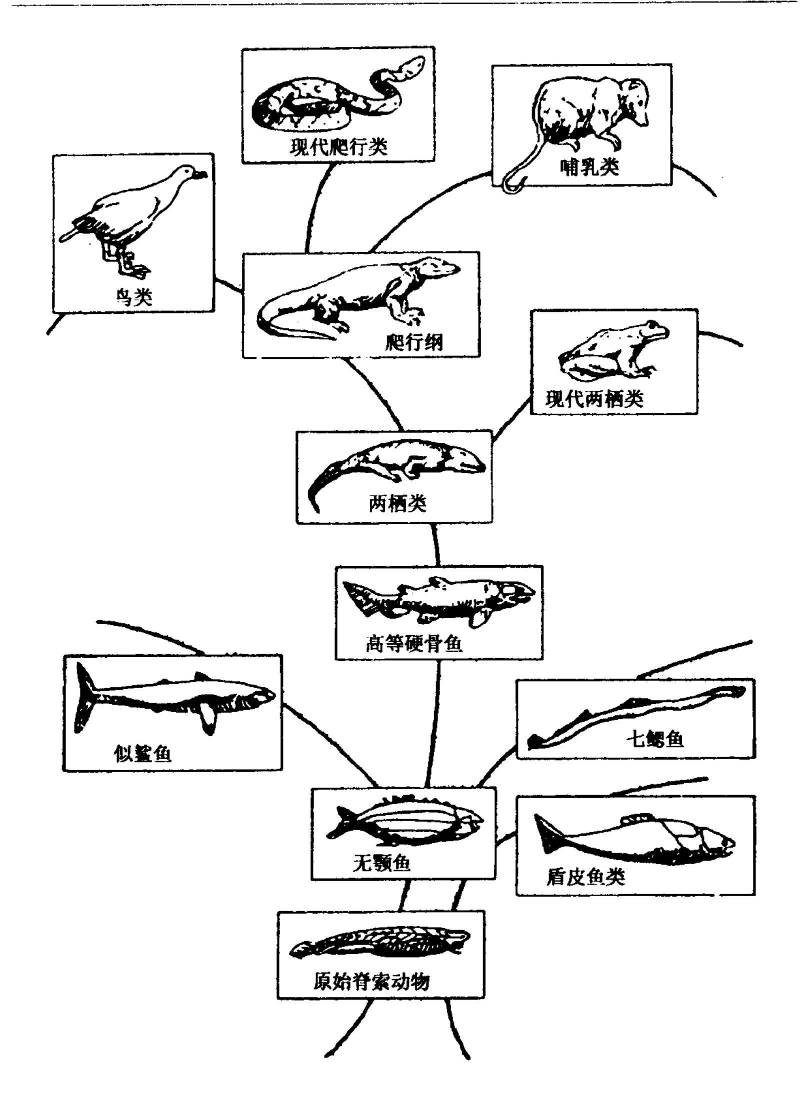


图 16－1 亲缘系统树，表示脊椎动物的进化关系

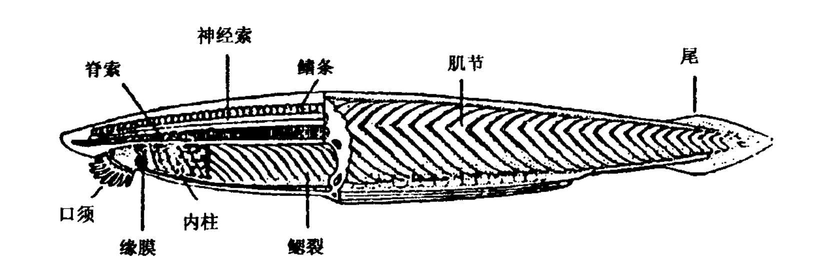


图 16-2　文昌鱼，一种外形像鱼的原始脊索动物，具有脊索

四足超纲的动物，全部都是用肺呼吸，共有 4 个纲。最简单的纲是两栖纲，如青蛙、蟾蜍都属这个纲。所谓"两栖"是指其幼期(如蝌蚪)没有四肢，用鳃呼吸，而成长后则变为具有 4 条腿及用肺来呼吸了。两栖类和鱼类一样，都是在水中产卵。

第二个纲是爬行纲，包括蛇、蜥蜴、鳄鱼和乌龟。这纲的动物终生用肺呼吸，卵被硬壳包着，并在陆上孵卵。高等的爬行类其心脏已有 4 个腔室，两栖类则有 3 个，而鱼类只有 2 个。

最后两个纲是鸟纲和哺乳纲。它们都是温血动物，不管外界的温度如何，其身体内部温度都可以保持恒定(当然，外界温度的变化也要有合理的范围)。而体内的温度往往比外界高，因此这类动物需要保暖。鸟类的羽毛和哺乳类的毛发都是为了使皮肤与外界空气隔开，而起到保暖的作用。鸟类下蛋如同爬行类一样，而哺乳类则是胎生的，并以乳腺分泌乳汁来供养幼儿。

到了 19 世纪，动物学家们听到了一则非常令人难以置信的报道，澳大利亚人发现一种动物，有毛，有乳腺，会产生乳汁，但没有乳头，然而它居然还会产卵！当这种动物的标本展示给动物学家看时(很遗憾是死标本，因为它离开栖所就不容易生存)，还以为这是骗人的东西。这种动物能在水上或陆地生活，外形与鸭子相像，有喙及蹼，因此就叫它**鸭嘴兽**。鸭嘴兽最终被承认是真的，因而它

便成为哺乳动物中的新成员。另外一种卵生哺乳动物——针鼹，随后也在澳大利亚及新几内亚发现。这些卵生哺乳动物和爬行类很相近，不仅是卵生，而且也不是完全的温血动物，在冬天，它们的体温可下降 10°C 之多。

哺乳动物现分为 3 个亚纲。第一亚纲是卵生哺乳类，叫原哺乳亚纲，它们的卵在未产出前，其内的胚就已经发育好了，待卵产出后很快就孵化。第二亚纲是后哺乳亚纲，这个亚纲中有负鼠及澳洲袋鼠等。刚出生的幼鼠，处在一种发育不全的状况中，因此很容易死掉，所以它必须在母鼠的育儿袋内吸吮乳汁，直到长大后能四处活动时为止，这些动物叫做**有袋类**。

第三亚纲是哺乳类中最高等的真哺乳亚纲，它们的特征是具有胎盘。胎盘是一种布满血管的组织，由母体供给胎儿营养及氧，并带走由胎儿产生的废物，这样，胎儿才能在母体内呆较长的时间(人类为 9 个月，象和鲸都是两年)。

真哺乳动物通常是指**有胎盘的哺乳动物**。

有胎盘的哺乳动物又分为十几个目，举例如下：

食虫目——鼩鼱、鼹鼠等。

翼手目——蝙蝠。

食肉目——猫科、犬科、鼬、熊、海豹等，但人除外。

啮齿目——老鼠、兔子、松鼠、天竺鼠、海狸、豪猪等。

贫齿目——树獭(有齿)、犰狳(有齿)、食蚁兽(无齿)等。

偶蹄目——有蹄，每蹄的趾为偶数，如牛、绵羊、山羊、猪、鹿、羚羊、骆驼、长颈鹿等。

奇蹄目——马、驴、斑马、犀牛、貘等。

长鼻目——当然是象。

齿鲸目——抹香鲸及其他有齿的鲸。

须鲸目——蓝鲸、露脊鲸等，用好像是口腔上长的大粗胡须一

样的鲸骨来滤取海水中的食物。

灵长目——人、猿、猴等。

灵长目的特征是用手(有时也用脚)抓握东西,大拇指、大脚趾和其他手指或脚趾相对立,手指或脚趾的顶部长有扁平的指甲,而不是尖锐的爪或被骨质包裹起来的蹄。大脑发达,视觉比嗅觉重要,此外,还有许多解剖学上的特征,但较不明显。

灵长目分 9 个科,其中有些只有极少灵长目的特征,简直很难相信是灵长目动物,但在分类上确实属于灵长目。例如,树鼩科,包括食虫的树鼩。另外还有狐猴,是夜行性的,生活在树上,口、鼻突出如狐狸,外表却像松鼠,主要产于马尔加什岛。

和人类最相近的当然是猴和猿了。猴共有 3 科。猴这个字可能是从拉丁文衍生而来的,是“小人”的意思。

有 2 科猴产于美洲,称为**新世界猴**,它们就是卷尾猴科,例如在街头卖艺的人玩耍的那种猴子以及狨科中的狨。另一科是**旧世界猴**,叫猕猴科,包括各种狒狒。

猿都属同一科,即巨猿科,原产东半球,和猴子外观上最明显的差别就是体形较大,没有尾巴。猿可分为 4 种类型:长臂猿,体形最小,毛最多,手臂最长,是这个科中最原始的;猩猩稍大,生活在树林中,很像长臂猿;大猩猩,比人大得多,主要在地面上生活,原产非洲;黑猩猩,也产于非洲,比人小,是除了人以外最聪明的动物。

至于人类所属的科,是人科,目前只有 1 属 1 种。林奈把人种命名为**智人**。虽然有些人对这个名字不大满意,但也没有人敢于更改。

进　化

经过上面把所有生物简单叙述一遍以后，就使人可以得到这样一个深刻的印象：生命的发展是一个由简单到复杂的，而且是非常缓慢的过程。各门动物可以重新排列，加入新的动物；门以下的各个纲，同样也可以重新排列，或增或减；纲以下的各个目，也是如此。

各个物种之间也常常混淆不清，好像是刚从共同祖先分支出来的。有些种的关系很近，甚至在特殊的情况下还可以杂交，例如马和驴适当交配，可以产出骡子；黄牛和水牛、狮和虎都可以杂交。另外，还有些所谓的“中间种”，也可以说是两大群动物之间的连结动物。例如猎豹属猫类，具有一些狗的特征；而鬣狗属犬类，却又有些猫的特征；鸭嘴兽则好像是刚由爬行类进化到哺乳类不久的动物。如果再从某些动物的幼年期来看，种和种间的区别就更模糊不清了，例如，早期的蛙像鱼；而 1825 年才发现的一种叫**柱头虫属**的原始脊索动物，其幼年期和棘皮动物很相似，当初还曾错把它作为幼年的棘皮动物呢！

人们甚至可以从人类受精卵的发育过程中，追溯各个门的发展历程，对这方面的研究称为**胚胎学**。从现代的观点来看，胚胎学应是由哈维开始的（他就是发现血液循环的那个人）。1759 年德国生理学家 K.F. 沃尔夫用实验证实，卵的变化的确是一个发育过程，也就是由未特化的原组织逐渐成长为特化的组织，而绝对不是像以前人们所想象的那样，以为卵内早就存在特化好的雏形，然后慢慢长大。

发育过程中，卵最先是一个单独的细胞（像原生动物），以后变成一小群细胞（就像海绵），其中每一个细胞分开之后，可以各自成长为新个体，同卵双胞胎就是这样形成的。胚胎继续发育，经过两层细胞的阶段（好像是具两胚层的腔肠动物），然后又生长出第三层（像棘皮动物），就这样越来越复杂，这种发展顺序和物种由低级到高级的顺序差不多。人类在胚胎发育过程中，也有一个时期会出现原始脊索动物的脊索，像鱼类的侧鳃囊，以后又生长出尾巴及像低级哺乳类一样的体毛。

早期的理论

从亚里士多德起，很多人就曾想过生物可能是彼此进化来的。由于当时基督教教会掌权，这种想法受到禁止。**《圣经·创世记》**的第一章，就明白地记载各种生物都是按照其同类创造出来的，照字面上来说，物种是不会变的，从一开始就维持各物种的形状。生物间有很明显的亲缘关系，想当年林奈也会有过这样的念头，不过他还是坚信物种是不会变的。

尽管上帝创造天地的故事牢牢地占据了人类的头脑，不过面对**化石**的证据，这种想法终究只好让步了。早在 1669 年，丹麦科学家斯蒂诺就指出，岩层的底层要比上层古老。由任何合理的化石形成的速率来看，这种说法越来越被肯定，底层岩层确实要比上层古老许多。生物化石埋藏的岩层，往往比**《圣经》**所记载的年代古老得多。化石也证实了地球的结构经历了巨大的变化。早在公元前 6 世纪，希腊哲学家色诺芬尼就记载山顶上有贝壳化石，并推想那山顶很久以前是在海底的。

相信圣经故事的人也许会说（其实他们也真的坚持），化石和以前在地球上生活的生物相似纯系巧合；或者说，那是骗人的魔鬼所创造的，因此不能相信。另外一个似乎有理的说法，认为化石是

大洪水时溺死的生物遗骸，因为《圣经》上说洪水曾淹没了所有的山头。

但是经过认真察看，很多生物的化石和现在生存的种类都不相同。早期的分类学家雷，曾怀疑化石是代表已绝种的生物。瑞士的博物学家博内更进了一步，1770 年他提出，化石的确是因地壳大变动死掉而绝种的生物的遗骸，比《圣经》中所记述的大洪水期早得多。

真正以科学基础奠定化石研究及**古生物学**基础的人，是英国土地测量学家 W. 史密斯。1791 年，当人们挖掘运河时，他发现凿开的岩石都是分层的，每一层含有特定的化石种类。这样一来，根据在地层中的位置，可以把化石按时间顺序编排，而且可将每种化石和代表地质史上某一时期的岩层形态互相对应起来。

约在 1800 年，居维叶依照林奈的分类系统进行化石分类，把比较解剖学引用到古代生物。虽然很多化石所代表的种及属，在现存的生物中已找不到，但都可以归入到已知的各门动物中，由此可以组成生物体系表中的一部分。例如，1801 年居维叶研究一种 20 年前发现的具有长手指的化石，他推想该骸骨与现存生物完全不同，具有革质的翅膀，且能飞行，这至少在已确知的生物中没有和它相像的；根据骨骼的结构，证明它是爬行类，因而把它命名为**翼指龙**，和现今的蛇、蜥蜴、鳄鱼和龟有关联。

而且，在越深的地层中发现的化石，就越古老，同时也就越简单，其发展程度也就越低。不仅如此，有些化石代表了过渡的中间型生物，可以把现存的两群看来没有亲缘关系的生物连结起来。有个最令人惊奇的例子是在居维叶死后才发现的一种原始鸟类，称为**始祖鸟**。这种鸟现已绝种，它有翅膀，有羽毛，又有像蜥蜴的尾巴，尾巴外缘长有羽毛，嘴像鸟却又长有爬行类的牙齿。由许多方面来看，很明显，始祖鸟是介于爬行类及鸟类之间的中间型生物

(见图 16－3)。

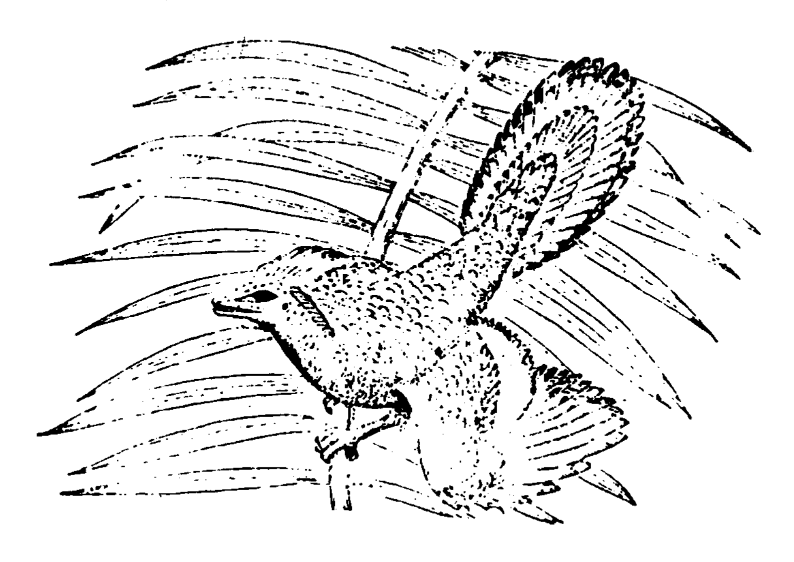


图 16－3　始祖鸟

居维叶一直认为陆地大变动是许多生物绝种的原因，而不是进化。但是到了 19 世纪 30 年代，C. 赖尔在他的划时代的著作**《地质学原理》**一书中，提出了新的看法，并得到科学界的支持与认可。如果要合理地解释古生物证据，就必须借助合理的进化理论。

假如动物是由一种进化成另一种，那么引起进化的原因究竟是什么呢？这一点是解释生物为何有如此多样性的障碍。最先设法解释这个问题的是法国博物学家拉马克。1809 年他出版了**《动物的哲学》**一书，书中认为环境引起动物改变，而这种改变又可以传给后代。拉马克以长颈鹿为例阐明他的观点（长颈鹿是当时很轰动的新发现），假设有一种类似羚羊的原始动物，以树叶为食，凡是够得到的树叶都吃光了，只好伸长脖子以取得更多较高的食物；

这样经常地伸，脖子、舌头及腿就会逐渐地变长；这些发展出来的特征又传给子代，于是一代比一代长，不断地传下来，经过几代之后，原始羚羊就进化成长颈鹿了。

拉马克的这种**获得性特征遗传**的观点，很快就被否定了。例如长颈鹿怎么会发展出身上的花纹呢？的确很难找到有什么因素会影响皮毛而使之改变。不仅如此，德国生物学家魏斯曼还抱着怀疑的态度做了许多实验，他把大白鼠尾巴连续切断了很多代之后，尾巴并没有变短，仍然和第一代一样长。（犹太人给男子割包皮，100 多代以后，包皮并没有因而皱缩，他要是早想到这一情况，就不必做实验了。）

早在 1883 年魏斯曼就发现，最终会产生精子或卵的生殖细胞，在胚胎早期就和其他细胞分离开来，并且保持不太专化的状态。根据这个发现以及大白鼠尾巴的实验，他推导出一个概念——**种质连续说**。种质就是组成生殖细胞的原生质，可以独立存在，而且一直延续好几代，而种质以外的身体的其他部分，好像是暂时作为种质的居所，每一代都重新建造然后毁掉，种质主宰身体特征的形成，而其本身却不受身体影响。他的这些想法完全和拉马克相反，而且也是错误的，虽然总的看来，魏斯曼的观点似乎比拉马克的观点更接近实际情况。

尽管很多生物学家反对，拉马克的理论仍然延续到了 20 世纪，甚至在苏联还有一段时间曾将此理论复兴起来，那就是李森科学说(即通过一定的处理方式改变植物的遗传性)。李森科是这一学说的主要人物，也是斯大林、赫鲁晓夫执政时的要人，直到 1964 年赫鲁晓夫下台之后才失势。环境对简单的生物可能会造成遗传上的改变，这种观点现代遗传学家并不否认，但是由于基因及遗传定律的发现，已彻底推翻了拉马克理论。

达尔文学说

英国青年 C.R. 达尔文喜欢艺术和运动,四处闯荡,无所事事,为了打发无聊的时间,一位船长和一位剑桥大学教授劝他到船上工作,研究生物。这艘船要以 5 年的时间航行世界一周,目的是研究大陆海岸线,并沿途观察各地的植物区系及动物区系。当时是 1831 年,达尔文 22 岁,在这艘名为**比格尔号**的船上,开始了科学史上最重要的一次航程。

船由南美洲东岸慢慢下行,绕过南端后折向西岸北上,达尔文非常用心地收集各种动植物的资料。他的最大的发现是在太平洋距厄瓜多尔约 1 000 公里的**加拉帕戈斯**群岛上(加拉帕戈斯是西班牙语"海龟"的意思),船在那里停留了 5 个星期。最引起达尔文注意的是岛上的许多种雀,后人称**达尔文雀**。这些雀至少可以分为 14 种,它们的差异主要是体形大小及嘴巴形状不同。这些种类的雀是世界上其他地方没有的,但看上去却和南美洲大陆上的雀很相近。

该怎样来解释这些雀所具有的特殊性质?这些雀又为何与一般的雀类不同?它们又怎么会分为彼此不同的十多种?达尔文认为最合理的假说是,岛上的雀是从大陆型雀繁衍而来,在岛上被长期隔离而分化,而分化又是因取食方式不同所造成的。有 3 种仍然保留大陆型雀的习性——吃种子,但是各吃不同的种子,刚好是大、中、小三种大小的种子,两种吃仙人掌,其他多数吃昆虫。

雀的食性及身体上的特征为何会改变呢?这个问题使达尔文好几年都困惑不解。1838 年,他读了马尔萨斯 40 年前的一本书后,才渐渐地对这个答案浮现出一线曙光,那本书是**《人口论》**。马尔萨斯主张,人口的增加最后必然超过食物所能供给的程度,因此最终将通过饥饿、疾病或战争等使人口减少。"生存竞争"就是在这本书中看到的,后来成为达尔文有名的学说。想到他观察的雀,

达尔文恍然大悟，原来食物竞争扮演了重要的机制，越有效地争取到食物，就越有利于生存。起初加拉帕戈斯岛上的雀类不断繁殖，种子渐渐不够吃了，于是引起竞争，只有比较强壮的雀，或者特别善于取得种子的雀，或者改吃别的食物的雀才能存活下来。某只雀碰巧具有稍稍不同的特征，能够吃较硬或较大的种子，甚至吃昆虫，那它就得到新的食物来源了；同样某个雀也许嘴细长些，可以够到别的雀吃不到的食物；或者嘴特别大，能吃别的雀没办法吃的食物，这些雀类就会存活得多些，子代也生得多些，但是它们就变得与原型的雀不尽相同了。每一种适应型都会找到一个新的、空的“生态龛”。加拉帕戈斯群岛上原来没有雀类，很多生态龛是空的，没有竞争者阻挠，因此很容易占有。南美洲大陆上所有的生态龛已全被占满，这种原型雀仅能自顾自，不能繁衍更多的新种。

达尔文认为，每代动物都是由与一般有所不同的个体组成的，其中也许有的体形大些，有的某个器官稍有变形，有的能干些，有的笨拙些。这些差异可能很微小，但是只要稍微能较适应环境，则生命就会长一点，子代也多一些。长久累积下来，差异就和原来的种越来越大，甚至不能再相互交配，这时新种就形成了。

达尔文称这种过程为**自然选择**。照他的说法，长颈鹿的脖子不是因伸展而变长的，而是有些鹿的脖子生下来就比较长，而脖子越长的鹿获得食物的机会就越多。经过自然选择后，脖子长的就生存下来。至于身上成块的斑点也很容易用自然选择来解释：阳光由植物间穿透下来，造成很多光点，身上具斑点的长颈鹿比不具斑点的容易逃过狮子的注意，生存的机会就大些。

根据达尔文的这种观点，人们很容易了解到为什么种与种、属与属之间很难有绝对明显的划分。种的进化是连续的过程，而且需要经历很长的时间，就是现在这一时刻，也必然有很多种动物，其部分的个体正在缓慢地转变成另一个新种。

达尔文花费了许多年的时间，收集证据和建立他的学说。他明白，他的学说必然会动摇过去的生物学基础及社会上对人类在生物中的地位的基本看法，所以他要保证他的立论在各方面都要站得住脚。他从1834年起就开始设想这个学说，并汇集资料，那是在读马尔萨斯的《**人口论**》之前；1858年他还在继续撰写关于这一学说的论著。他的朋友（包括地质学家C. 赖尔）知道他正在写这样的书，有几位读过他写的初稿的人，劝他赶快写好，免得被人抢先。达尔文却不愿意（或许不能）匆匆赶完，于是真的被人抢先了。

抢先的那个人就是华莱士，比达尔文年轻14岁，经历和他差不多，年轻时也曾绕世界一周进行科学探险。他发现东印度群岛上的动植物，在东西两边的岛屿上完全不同，其间可以画一条清楚的分界线。例如，从婆罗洲（即现在的加里曼丹）和西里伯斯岛之间，往南到巴厘岛和龙目岛两小岛之间可以划分开来。这条线现在仍称做**华莱士线**。华莱士后来又把地球分为6个大区，每个区都各有不同种类的动物，这种区分法，稍加修改之后，目前还在使用。

东边岛屿及澳大利亚的哺乳动物，很明显地比西边岛屿以及亚洲的动物较为原始，说得再详细一点，就是比世界其他各地的哺乳类都要原始。这样看来，好像澳大利亚和东方一些岛屿，在很早以前便由亚洲大陆分开来，那时大陆上只有原始的哺乳类，有胎盘的哺乳类是后来出现的，而且只有亚洲大陆才有。新西兰恐怕是更早以前就分开了，因为它连哺乳类都没有，倒是有原始不能飞的鸟，即存活至今的最有名的无翼鸟。

那么在亚洲大陆上较高级的哺乳动物又是怎样产生的呢？华莱士自1855年起，对这个问题就百思不解，后来他也是在1858年时偶尔看到马尔萨斯的著作，然后也得到了和达尔文相同的结论。

思考清楚之后，他马上在两天内写好一篇论文，打算把稿子寄给有名望的生物学家求教，而他选的这位生物学家就是达尔文。

当达尔文收到这篇稿子时，大为震惊，因为华莱士在稿中所写的，简直就像是用他自己的话写出自己的想法一样。他立刻把华莱士的文章呈给其他有名望的科学家看，并提出和华莱士合作，把他们的共同结论摘要写成一份报告。1858 年，两人的报告发表在**《林奈学会杂志》**上。

次年，达尔文的书出版了，书的全名是**《由自然选择论物种起源——在生存竞争中，适者生存》**。现在简称为**《物种起源》**。

自达尔文那时起到现在，通过对遗传机制、基因、突变的认识，进化论得到某些修正和补充。不过，直到 1930 年，英国统计学家及遗传学家费希尔指出，孟德尔的遗传理论为自然选择的进化提供了必要机制，从此进化论才在现代科学中取得一席之地。

当然，其他方面的科学进展使达尔文的学说不断提高和深化。有了板块构造学说之后，就可以解释相似的种类在地球上为什么离得那么远，以及推动进化的力量是什么。而能够详细分析蛋白质及核酸，就可以追溯分子的进化，也可以由分子的差异程度来判断生物亲缘关系的远近。

生物的进化经历了几十亿年的复杂过程，对其机制的详细情况一直存在着争议。本世纪 70 年代，有些生物学家如古尔德就提出**间断的进化**的观点。他们不认为进化是缓慢、平稳、连续的过程，而相反地认为大部分过程中都没有什么改变，只是在中间穿插的几个短暂的时刻中，生物才有明显而突然急速的变化。所谓短暂的时刻或许是指几十万年，从进化的角度来说，这几十万年也算是很短的了。

无论如何，还没有哪一位声誉卓著的生物学家怀疑进化的观念。达尔文的基本观点已是根深蒂固，进化的观念也确实已广泛

应用于各个科学领域——物理学、生物学、社会科学等等。

进化论遭到的反对

达尔文学说一宣布就引起狂澜。首先有很多科学家反对，特别是英国动物学家欧文。他是化石分类学家居维叶的接班人，在对抗达尔文学说方面，表现得很不正派。他力促别人卷入这场争论，而自己却躲在背后，匿名写些反对的文章并自称是权威。

英国博物学家戈斯为求不卷入这两方的争论，就主张地球上的一切都是由上帝所创造的，化石是上帝要测试人类是否具有坚定的信仰。但是这种假设上帝在人类身上玩弄幼稚把戏的说法，对大多数有见识的人来说，比达尔文学说更亵渎上帝。

随着时间的延续，反对进化学说不再那么尖锐了，科学界的反对浪潮也渐渐平息下来，30 年内就几乎销声匿迹了。然而在科学界以外的争议，却更为长久而激烈。"人类祖先是猿猴"，或者说"人类是猿猴变的"，这种说法惹怒了绝对相信《圣经》的原教旨主义者。后来当了英国首相的迪斯累里说过一段尖酸的名言："摆在社会大众面前的问题是：人是猿猴还是天使？我赞成人是天使。"这时，所有的基督教徒都声援"天使论"，而大肆抨击达尔文。

在这场激烈的争论中，达尔文由于生性使然，自己并没有卷入激烈的争论，而杰出的生物学家 T.H. 赫胥黎却是他得力的卫士。作为"达尔文的斗犬"，赫胥黎在英国的演讲堂里进行了不懈地争辩。其中最令人瞩目的一次胜利，就是 1860 年和英国国教的主教威尔伯福斯的一场辩论。威尔伯福斯是一位数学家，以口齿伶俐善辩著称。

这位主教在博得了听众的心理之后，箭头便指向了他那庄重、严肃的对手。根据辩论的报道记载，情况是这样的：威尔伯福斯说："赫胥黎声称他的祖先是猴子，我想请教，那是不是指他的祖父

和祖母呢?"听众哄堂大笑,而赫胥黎却对邻座的人耳语:"他要栽在我手里了!"然后慢慢起身回答说:"倘若有个人得天独厚,既有才华又颇具影响,然而却用这些天赋在严肃的科学讨论会上尽提些荒谬的问题,如果让我在这样的一个人和一只可怜的猴子中间,选择谁当我的祖先的话,我会毫不迟疑地选择猴子。"

赫胥黎痛快地反击不仅粉碎了威尔伯福斯的论点,也使那些原教旨主义者陷入被动。事实上达尔文的论点的确胜利了,所以到 1882 年他去世时,受到广泛的尊崇,被葬在英国伟人墓地威斯敏斯特教堂内。而且为了纪念他,澳大利亚北部的一个城镇就取名为达尔文城。

对进化学说的另一位有力的支持者,是英国哲学家斯宾塞,他使**适者生存**这句话及进化这个词广为宣扬,达尔文自己倒是很少用进化一词。斯宾塞想把进化论应用在人类社会的发展上(他被称为社会学的创始人),然而这个论点是站不住脚的,因为在进化当中,生物变化与社会变化完全不同。后来有人把他的理论错误地用在支持战争及种族歧视上,这是斯宾塞当时没有料想到的。

1925 年,美国境内爆发了一场反对进化论的争战,反对派在战场上赢了,但从整个战争来看,却是输了。

田纳西州议会通过一项法令,禁止该州公立学校老师讲授人类是从较低级的生物进化来的。科学家及一些教育学家为了对这条法律的合法性提出挑战,就劝使一位年轻的高中生物学教师在课堂上讲达尔文学说。这位老师名叫斯科普斯,就在课堂上讲了达尔文学说,于是被指控为违犯法律而被提审,地点是在他教书的地方——田纳西州达顿市,这次审判引起了全世界的瞩目。

当地居民和法官坚持反对进化论的立场。著名的雄辩家、原教旨主义者布赖恩,是诉讼检察官之一,他曾 3 次竞选总统都失败了。而斯科普斯的辩护人,则是以著名的刑事律师达罗为首的一

些人。

这场审判就绝大部分而言是令人失望的，因为法官拒绝被告辩护律师的请求，不准科学家在证人席上为达尔文学说作证，而且把审判范围局限于斯科普斯有没有讨论进化论。不过案子还是明朗化了，布赖恩不顾同事的反对，自愿接受被告一方的盘问。在达罗的盘问下，布赖恩马上露出他对现代科学的发展一无所知，而对宗教与《圣经》的认识也是非常呆板的，就像一些每逢礼拜天就上教堂的教徒一样。

斯科普斯被判有罪，罚款 100 美元。（这项判决后来被田纳西州最高法院以技术上的错误为由撤销了。）而在一些有科学见识的人们眼中，这批教徒及田纳西州政府真是荒谬可笑，因此使得反进化论者处于守势而退居幕后大约有 50 年之久。

但是这股黑暗无知的势力，始终没有完全消除。本世纪 70 年代，反进化论派又以一种新的甚至更为有害的立场重新出现，反对科学的宇宙观。他们放弃早先逐字解释《圣经》的错误论点，假装以非常合乎科学的态度出现。他们只含糊地说“造物者”，避免利用圣经的字眼，然后他们把进化论说成是错误百出、不可能是正确的，而**造物论**才是值得相信的。

为了说明进化论是错的，他们胡乱引述，歪曲事实，断章取义，无所不用其极，根本就违背了《圣经》禁止做假见证的规定。荒谬的是，尽管找不到有利于“造物论”的任何证据，他们却还是郑重其事地称其理论为“科学的造物论”。

这派人士要求学校为“科学的造物论”开设同样多的课时，让学生们学习他们的理论。任何老师或课本在讨论进化论时，一定也要讨论“科学的造物论”。到目前为止，法庭上的诉讼他们一次也没有胜利过，但是因为有不懂科学而醉心《圣经》记载的狂热教徒做后盾，于是就恐吓学校董事会、图书馆、议员等，阻止科学的发

展。

其结果实在很可悲，造物论者认为地球的历史只有几千年，整个宇宙也是如此，生物在突然间出现，而且一开始就有这么多种类。在天文学、物理学、地理学、化学、生物学上看来，都是一派胡言，很可能造就出一代心智昏庸的美国子弟。

进化学说的证据

造物论者争论的一点是：谁也看不见进化的力量在起作用。这看来好像是无可反驳的论点，但是他们还是错了。

事实上，如果需要达尔文学说的证据，眼前自然选择的例子就可以提供。达尔文的故乡就有一个明显的例子。

英格兰有一种蛾，具有深色和浅色的两个变种。在达尔文的那个时代，树干上布满地衣，颜色并不深，所以浅色蛾较不显眼，这叫**保护色**，深色蛾在浅色树干上，容易被捕食昆虫的动物发现而被吃掉，所以浅色蛾多而深色蛾少。后来随着英格兰越来越工业化，黑烟污染而使地衣死亡，并使树干颜色加深，浅色蛾变得显眼，被动物食掉的机会加大，而深色蛾反而受到保护，结果深色蛾的数量超过了浅色蛾，这就是自然选择的作用。

1925年，英国国会通过法律，决定清除空气污染。因此黑烟减少，树干上又开始生长地衣，这样浅色蛾的比例马上就增加了。所有这些变化用进化论都可以预测，而一种成功的理论，就是不仅能解释目前，也要能预测未来。

进化的过程

古生物学家研究化石记载,把地球史分为一系列连续的**代**。19世纪的英国地质学家,如赖尔、塞奇威克及麦奇生等人,完成初步的构架并给予定名。最早的代,从6亿年前开始,这时也是最早发现的化石的年代。当时除了脊索动物门之外,其他各门动物都已有了。当然,最早的化石并不就代表最早的生物,只有生物的那些坚硬部分才会石化,所以最早的化石,只能代表那些具有硬壳或骨骼的生物,这些生物中,即使是最简单、最古老的,也必然是已经过一段漫长的进化过程,和最初的生命现象比较,仍然是很进步的。果然,1965年发现了一种小型贝状生物的遗骸,这大约是7.2亿年前生物的遗骸,这个发现支持了上面的假设。

目前古生物学家又有更多的发现,认为简单的单细胞生物必定比任何具硬壳的生物早得多,这点已找到了支持的证据:由岩石中发现的细菌和蓝藻的迹象来看,可能超过10亿年;1965年美国古生物学家巴洪发现了一些与细菌相似但必须用电子显微镜才能研究的、极为微细结构的生物化石,其年代大约超过30亿年。

如果要追溯生命的起源,似乎化学物质从46亿年前地球形成之后就开始进化。在10亿年之内就进化到足可以被认为是生命的东西。那时大气层中含氧量仍然很少,最古老的生命形式必定能适应那样的环境,其后代则存活到今天。

1970年,沃斯开始仔细研究那些只能生活在没有游离态氧环境下的细菌。其中有些能将二氧化碳还原成甲烷,因此就称为**甲烷产生菌**。另外有些细菌,则能够进行其他反应产生能量,以维持

生命，但均和氧无关。沃斯将这些全部归在一起，统称为**古细菌**，并且认为最好把它们作为生物中的另一界。

当生命形成之后，大气层的性质便开始慢慢改变了。大约在25亿年前，蓝藻就已经出现，光合作用逐渐改变了大气层的组成。大气层由氮-二氧化碳组合变成氮-氧组合。大约10亿年前就可能有真核生物出现，而当时海中的单细胞生物的种类，可能已有相当差异，包括当时最复杂的生物——原生动物，已可算作是当时的生物界之王。

自蓝藻出现后的20亿年间，大气中氧的含量必定是以极缓慢的速度增加。目前我们已经了解到，地球形成10亿年后，氧约占大气的1%～2%，这已足以供应当时存在的所有动物细胞所需的能量，而进化也朝着越来越复杂的方向进行；6亿年前，复杂的生物化石便多起来了。

最早发现的较复杂的生物化石属于**寒武纪**；而在此之前的整整40亿年则称为**前寒武纪**。由于在这段时期内最近发现有生命的遗迹，故改称为**隐生代**。其后的6亿年则称为**显生代**。

隐生代又可分为两部分，前半部分是**始生代**，这时单细胞生物开始出现，后半部分是**原生代**。

显生代和隐生代之间的界线非常明显，而且都是突然发生的。例如，在某一时期的化石完全要用显微镜才能看得到，但不久以后，就有许多不同形式的、复杂的生物化石出现，这种泾渭分明的现象称为**不整合**，这很容易使人联想是由大灾难所引起的，不然化石的出现应该是渐进而连续的；或者很可能是由于地质上的大变动消灭了当时所有的生物遗迹。

地质年代

显生代粗分为**古生代**、**中生代**和**新生代**。如果用现代地质学

方法来测定，古生代前后历时约 3.5 亿年，中生代为 1.5 亿年，新生代则为地球史的近 5 千万年。

每个代又分为几个纪。例如，古生代的第一个纪是寒武纪（是英国威尔士的地名，更确切地说是古时居住在当地的一个部落的名称，在那里最先挖掘到这一年代的地层），这个时期以介壳类最进化，是三叶虫及近似现代鲎的原始节肢动物的全盛时代，马蹄蟹在 2 亿年内没有什么进化上的改变，一直保持到今天，所以被称为现代的**活化石**。

紧接寒武纪是**奥陶纪**，是威尔士地区另一古部落的名称。时间大约是 4.5 亿到 5 亿年前之间，脊索动物在这个时期首次出现，那就是小型群居性的**笔石**，现已绝种，类似现在的玉柱虫，都是**半脊索动物亚门**，也是脊索动物门中最原始的亚门。

再次是**志留纪**（仍系威尔士的古部落名称）和**泥盆纪**（也是取自英国的一个地名）。

介于 3.5 亿到 4 亿年前这段时间内，鱼类在海中占优势，到今天仍然如此。在这一时间内，生物开始上陆地生活。在整个生命进化史上，前大半约 5/6 的时间，生命完全只局限于水中，陆地则一片死寂，这实在令人费解，但是事实的确如此。陆地上缺水、温差大、没有浮力抵消重力，由海中的生物逐渐进化到能适应这些困难，实在是生物对抗环境的一大胜利。

向陆地迁移的原因，可能是因为食物争夺及海水中空间拥挤。浅滩处在低潮时会暴露好几小时，故原来没有生物；随着海水中生物越来越拥挤，为了减少竞争，只好向岸边发展；最后，出现一些突变的个体，变得可以适应陆地上生活。

首先能上到陆地上生活的是植物，大约在 4 亿年前。这类先锋植物现在已经绝种，而且也是最早的多细胞植物，属于**裸蕨类**（此名源自希腊文“光秃”之意，茎上没有叶子，是原始的特征）。随

后复杂的植物不断发展，到 3.5 亿年前，陆地上就遍布森林了。等植物在陆地上生长后，动物也尾随而来，在数百万年内，陆地上就出现很多节肢动物、软体动物及昆虫类等。这些先登上陆地的生物都很小，因为没有内骨骼支撑，体重大一些的动物会被地球引力吸得挺不起来。在海中有浮力抵消重力，当然不成问题，所以今天最大的动物也还是生活在海中。陆地生物中，最早具备快速运动能力的是昆虫，由于它们发展出翅膀，可以减少重力，不像其他动物只能慢慢地爬。

生物登上陆地之后约 1 亿年，才开始有大型的动物进入到陆地，因为它们有支撑性的内骨骼，不会因重力太大而承受不了。这批从海里来的新客是硬骨鱼，属于总鳍亚纲。它们当中有一部分迁移到还不拥挤的海域，例如腔棘鱼，当 1938 年科学家发现它们还活着时，大为惊讶。

鱼类上到陆地最先是为了取得氧。因水中的含氧量降低到无法生存下去时，那些能够探出头来有效地呼吸空气的鱼，最有利于生存，因为空气中氧含量极多。若再能储存吸进来的空气，生存的机会就更大，故在肠道上就进化出可以装空气的囊袋，有的就成了简单的肺，进化而产生出所谓的**有肺鱼**，这类鱼目前还有少数几种生存在非洲与大洋洲，它们生活在不太流动的水中，若是一般的鱼早就憋死了；甚至在夏季水完全干涸时，它们也能安全度过。有的鱼即使能忍受海水中氧气的不足，也具有充满气体的气袋，但这不是供作呼吸之用，而是用来增加浮力的，这表明它们也是从古老的有肺生物进化而来的。

在有肺的鱼当中，有些进化到能完全离开水生活，其中以具有强壮的鳍的总鳍鱼类最突出，因为它们在没有水的浮力时，便以鳍足来支撑身体。到了泥盆纪末期，有些总鳍鱼已可以用粗短的四肢摇摇晃晃地站在陆地上了。

紧接泥盆纪之后是**石炭纪**，这个名字是 C. 赖尔定的。他定这个名字是有原因的。因这段时间(大约 3 亿年前)丛林浩瀚，这时可能是地球史上沼泽森林最茂密的时代，后来森林被埋在地底而成为煤矿床。这个时期是两栖类的时代，成长后的总鳍鱼已完全生活在陆地上了。其后是**二叠纪**，爬行类在此时开始出现，中生代也是从这时开始；后来爬行类几乎占据了整个地球，所以中生代也称为**爬行动物代**。

中生代又分为三个时期——**三叠纪**(分布三个地层)、**侏罗纪**(以法国侏罗山命名)和**白垩纪**。三叠纪时恐龙大量发生，在白垩纪时达到高峰，那时，地球上有史以来最大的食肉动物**霸王龙**四处横行。

侏罗纪时，早期哺乳动物及鸟类分别由不同的爬行类衍生出来，但是数量不多，也没有到达鼎盛期。白垩纪末期，所有的恐龙在不很长的时期内就完全消失了，其他一些不是恐龙的大型爬行类也是如此，例如，鱼龙类、蛇颈龙类、飞龙类，前两类属海生，后一类有翅膀。此外，有几类无脊椎动物也跟着消失，如菊石(是现存鹦鹉螺的近亲)，还有很多小型个体的生物也多灭绝了。

据估计，75%的生物种类在**大灾难**及白垩纪末期都死光了，而存活下来的 25%的种类中，大多数也都死了，所以以个体总数来计算，死亡的占 95%。究竟发生了什么灾难，使地球差点生命绝迹呢？

1979 年，美国古生物学家阿尔瓦雷斯率领研究队伍，设法测出古代地层的沉积速率，他们在意大利中部沿着岩心，用中子活化技术探测岩层的金属含量，结果发现，其中有一种金属——铱。奇怪的是在地层的某一薄层岩石中，铱的含量比紧邻的上下岩层高出 25 倍。

这些铱从哪儿来的呢？是否因为沉积速率忽然大幅增高？或

者可能是来自地球以外？陨石所含的铱及其他几种金属，比地球上的丰富，而这一薄层岩石所含的铱及其他几种金属，也和陨石中的一样丰富。阿尔瓦雷斯怀疑是因为流星撞击，但又找不到碰撞造成的坑洞。

后来，阿尔瓦雷斯继续调查发现，地球上富含铱的地层有的相隔很远，但都在相同年代的岩层里。因此，他推想有个巨大的流星坠落，在强烈撞击下，大量物质喷洒到大气层中，然后再慢慢散落在整个地球上。

那么这又是什么时候发生的呢？含铱丰富的岩层年代，大概是在 6 500 万年前，那时正好是白垩纪结束之时。很多地质学家和古生物学家（但并非全部）相信这样的说法：由一个直径长达 10 公里的巨大星体在白垩纪末和地球撞击，形成大灾难，导致许多恐龙和其他生物一时间大量死亡。

与此类似的撞击很可能是周期性发生的，每次也都造成大灾难，以白垩纪末的这一次最严重，因而最容易观测到并可以仔细加以证实。当然，类似的现象将来可能还会发生，因为空间还存在有许多流星，除非人类发展出特殊能力，能在流星尚未撞击到地球之前就把它毁灭。确实，现在看来大灾难似乎每隔 2 800 万年发生一次。1984 年，科学家们推测，太阳有一颗伴星，每隔 2 800 万年就侵入近日点，使彗星云层分裂并将上百万个碎片散布到太阳系内部来，有些必然会撞击到地球。

这一撞击会立即把附近地区毁掉，但对整个地球的影响更大，大量的灰尘会升到平流层，笼罩着大地，使地球陷入漫长的黑夜中，光合作用也因此而中止了。

1983 年，天文学家萨根及生物学家 P.R. 埃尔利希曾经指出，若发生核战争，只要现有核武器的 1/10，就足以引起一场人为的寒夜，持续之久，可以使人类消灭殆尽，这场浩劫不是人类能承受

得了的。

然而不论是由什么原因导致白垩纪末期爬行类的灭亡，都意味着新生代**哺乳动物代**的来临，并且一直延续到今天。

生物化学上的变化

所有生物都是由蛋白质构成的，而各种蛋白质所含的氨基酸也都相同，这个事实在一定程度上证明了现代生命的统一性。最近，同样的证据表明，我们和以前的生物之间也具有这种共同的特性。一门新的科学——**古生物化学**，开始于本世纪 50 年代末期，当时发现在一些 3 亿年前的化石中含有蛋白质的遗迹，其氨基酸组成和现代的完全相同——甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸等，没有任何一种和现代的氨基酸有所不同，而且碳氢化合物、纤维素、脂肪和卟啉，也都和目前的完全一样。

借助目前的生物化学知识，可以推测出一些生物化学上的变化在动物进化过程中所起的作用。

首先研究含氮废物的排泄。很明显，排泄这些含氮废物的最简单的方法，就是以氨分子的形式排出。因为氨分子小，容易通过细胞膜渗透到血液中，而氨的毒性极强，血液中氨浓度只要超过百万分之一就会致死。这对海水中生活的动物不成问题，因为它可以经由鳃把氨不断地释放到周围的海水中，但是陆地上生活的动物就没有这种能力。如果要把不断生成的氨由尿中排出去，那么动物就会失水而死；所以陆地上的动物所排泄的含氮废物，必须是毒性较低的尿素。这种尿素物质在血液中浓度高达 1% 也不会有危害。

现在的鱼类所排泄的含氮废物就是氨，蝌蚪也排泄氨。但蝌蚪到成长为青蛙，便改为排尿素。生物由水生到陆生，这种化学上的变化和由鳃变为肺是同等重要的。

当总鳍鱼类登上陆地,慢慢变成两栖类时,这些生物化学上的变化,应该就已开始。因此,有充分的理由使人们相信,**生物化学上的进化**和**形态进化**占有同样重要的地位。

由两栖类到爬行类,还要经历一段重要的生物化学变化。爬行类的卵中,水分有限,如果胚胎中也是排尿素,一定会造成卵内的浓度太高,解决这个问题的方法就是改为生成尿酸,而不是生成尿素。尿酸是一种嘌呤分子(与细胞核酸中的腺嘌呤和鸟嘌呤相似),不溶于水,因此可以以小粒晶状析出,这样就不会再进入到细胞中产生危害了。

成长为成体以后的爬行类,仍旧排尿酸,但没有一般的尿液,而是以半固体状态由排粪便的出口排出,这单一的开孔称为**泄殖腔**。

鸟类和卵生哺乳类的卵,和爬行类相似,仍保留泄殖腔和排尿酸的机制。事实上,卵生哺乳类也叫做**单孔类**(分类上也叫做**单孔目**),就是这个缘故。

有胎盘的哺乳类的胎儿,可间接和母体的循环系统相连,胎儿产生的含氮废物很容易被冲淡,因此是以尿素形式转到母体血液中,由母体的肾脏排出。

成体以后的哺乳类,要大量排出尿液以除去尿素,因此有两个分开的出口:一个是肛门,排出固体的食物残渣;另一个是尿道口,专门排尿液。

事实上,所有生命都是有其共通性的,然而种与种之间,还是存在有分类系统上的、可发现的小变异,由上面所提含氮废物的排泄,便可略知其一二,而且随着种类间进化关系相差越远,差异也就越大。

例如,动物的血液能产生抗体,用以抵抗某些外来的蛋白质,如人类血液中的蛋白质。如果将这种**抗血清**单独分离出来,会和

人类的血液凝集，产生剧烈的反应，但是如果和其他种生物的血相混，就不一定会起作用(谋杀案中常借用此法鉴定血迹是否为人类的)。有趣的是，能和人血起剧烈反应的抗血清，只会与黑猩猩血液起微弱的反应；而和鸡血能起强烈反应的抗血清，也只能很轻微地和鸭血起反应。因此，从抗体的专一性可以指示生物间的亲缘关系。

由血清试验可显示复杂的蛋白质分子间有些微小的差异，在亲缘极近的种类之间，差异更小，甚至于其血清反应相同。

本世纪 50 年代，生物化学家极力研制能精确分析蛋白质的氨基酸结构的技术，因而使利用蛋白质结构来分类的方法得以快速发展。

1965 年发表了一份详细研究灵长目的各类型血红素分子的报告，其中也包括人的血红素。在血红素中有两种肽链：一种为 α **链**，在各种灵长目动物中差别极小；另一种为 β **链**，有较大的差别。其中有一种灵长目动物的 α 链，只有 6 个氨基酸和人类的不同，而 β 链则有 23 个氨基酸和人类不同。根据血红素分子的差异判断，人类大约在 7 500 万年前和其他猿猴分化出来，这时也正是马和驴的祖先分化出来的时候。

凡是需要呼吸氧的生物——植物、动物和细菌，其细胞内部都有**细胞色素** C，这种细胞色素 C 是一种含铁的蛋白质，由 105 个左右的氨基酸组成。分析不同种类的细胞色素 C 的分子，发现人类与恒河猴之间只有 1 个氨基酸不同，而人类和袋鼠则有 10 个氨基酸不同，和鲔鱼有 21 个不同，和酵母菌则有 40 个不同。

借助电子计算机分析，科学家推算出每改变一个氨基酸平均要经历 700 万年的时间。根据这样的估计，可以计算出某一种生物是在多少时候以前从其他生物中分化出来的。由细胞色素 C 的分子推算，较高等的生物和细菌大约在 25 亿年前就分开了(换

句话说，在那以前，可能有某种生物可以说是所有真核生物的共同祖先)。同样，15 亿年前植物和动物还有共同的祖先；10 亿年前，昆虫和脊椎动物的祖先也相同。因此必须了解，进化论不只是在化石方面站得住脚，在地质学、生物学、生物化学方面也得到广泛的支持。

进化速率

假使 DNA 链上的突变(从而导致氨基酸形式的改变)是由随机因素决定的话，那么进化速率就可以认为是大致恒定的了。然而有些时候进化速率似乎特别快，那时就会出现许多新种，这就是前面提过的间断的进化。或者在地球史上的某些时间内，突变率特别大，频繁的突变产生出来许多新种，或是使很多原有种类不能继续活下去(这也可能是新种比原有种更有利于生存，因此在竞争中把原有种逼上绝路)。

加速突变的环境因素之一是高能辐射，而地球表面在任何时候都受到来自各方的高能辐射的照射，大气层虽然能吸收掉其中的大部分，但却抵挡不住宇宙射线。是不是宇宙射线在某些时候比其他一些时候强呢？

如果用另一种想法解释则又不同了。宇宙射线会受地磁的影响产生或多或少的偏移，而地球磁场强度也随时会改变，有时甚至会变为零。希曾在 1966 年指出，当地磁强度为零时，地球表面接受的宇宙射线最多，此时引起突变的速率会突然大增。照这种说法，这种现象就变得颇为严重了，因为现在地球好像正走向地磁强度为零的时代！

那么，当地球附近有超新星产生时，又会怎么样呢？超新星若靠近太阳系，应该会使照射到地表的宇宙射线明显地增加吧？一些天文学家已经在猜测这种可能性呢！

人类的起源

17 世纪时，爱尔兰的大主教厄谢尔认为，人类起源的确切年代是公元前 4004 年(他当时用的英文字“man”应该是包括男性和女性，直到本世纪 60 年代女权运动崛起时，对这个字才有所争议)。

在达尔文之前，很少人敢对《圣经》上关于早期人类历史的解释提出质疑。《圣经》上最早而合理的确切年代的记载可追溯到扫罗王朝。扫罗是以色列的第一位国王，一般相信，他于公元前 1025 年登基。厄谢尔主教和其他研究《圣经》的学者，由《圣经》年代表上所叙述的日期回溯，结果认为，人类和宇宙的产生不会超过几千年。

早期的文明

考证希腊历史学家所记载的人类历史，简直和《圣经》的记载相当或者还不如《圣经》的记载古老。他们所记载的人类历史始于公元前 700 年，模糊的传说所提到的大约公元前 1200 年的特洛伊战争，乃是超越这个历史核心之外的记载。然而更模糊的传说，则是弥诺斯国王所统治下的克里特岛上的前希腊文明。除了历史学家的著作之外，18 世纪以前人们对古代人类日常生活的情况一无所知。公元 79 年，因为维苏威火山爆发而埋没于地底的庞培城及赫尔库拉尼姆城，在公元 1738 年的时候，被挖掘出来。这是历史学家们首次知道可以借助挖掘而发现某些东西，考古学也就因此而得以发展。

19 世纪初期,考古学家开始片断地目睹了希腊及希伯来历史学家所叙述的人类文明。1799 年,当波拿巴将军侵略埃及的时候,军队中有一位名叫布萨德的军官,在尼罗河出口之一的罗塞塔城,发现了一块碑石。这块用黑色玄武岩厚石做成的碑石,上面刻有用 3 种文字书写的碑文,第一种是希腊文字,第二种是埃及古老的象形文字(当时认为是神的文字),第三种则是简化的古埃及通俗文字。

用希腊文书写的碑文,是在托勒密五世统治期间的一条例行法令,时间相当于公元前 196 年 3 月 27 日。很明显,碑石上其他两种文字一定是同一法令的译文(比较现代的公共场所,尤其是机场,禁止吸烟的标志以及其他官方注意事项,经常是以三种文字书写的)。这使考古学家们大为兴奋,因为使他们最后找到一个"对照译本",可以去翻译原先无法解读的埃及文字。一位早期建立光波理论的学者 T. 杨,企图以"破译密码"的方法,完全地解译罗塞塔石。T. 杨做了非常重要的工作,但他却落在一位研究古物的法国人商博良的后面。商博良大胆地猜测,某些埃及基督教派仍然熟悉的文字——哥普特语,能够作为研究古埃及语言的向导。在公元 1821 年以前,他解译出了象形文字以及民用文字,并且创造了一个方法,可阅读从古埃及废墟中发现的所有碑文。

后来一项几乎是同样的发现,解读了古代美索不达尼亚平原上那些无法翻译的作品。一些学者们在伊朗西部比希斯顿村废墟附近的高耸断崖上,发现了一块碑文。这块碑文是在大约公元前 520 年,波斯王大流士一世下令雕刻的,内容是公布大流士一世打败一位篡权者后登上王位的事件。他为了让每个人都能够阅读这段历史,便以三种文字雕刻:波斯文、苏美尔文及巴比伦文。苏美尔及巴比伦文字始源于公元前 3100 年,是人们拿着针笔在黏土上刻画出来的绘画文字;这些文字已发展成**楔形文字**,到公元 1 世纪

时仍被使用着。

一位英国军官罗林森爬上这个断崖，抄写下整个碑文，然后以地区性方言作为指导，经过了 10 年的努力，终于在公元 1846 年之前完成了整个的翻译工作。这个楔形文字的翻译工作，使得底格里斯河与幼发拉底河之间的古代文明史迹，不再是神秘而不可理解的了。

为了寻找古代文明所留下的碑石及遗迹，远征队一次又一次地前往埃及和美索不达尼亚平原探险。1854 年，一位土耳其学者萨姆，在已荒废的亚述古国首都尼尼微，发现了一本碑石藏书的遗迹，这本藏书大约在公元前 650 年，曾被亚述最后一位伟大的国王亚述巴尼拔所收藏。1837 年，英国的亚述专家 G. 史密斯发现这块碑石上写着有关洪水的传说，这个传说与诺亚方舟[1]的故事极为相似。假如犹太人在亚述巴尼拔死后 1 世纪，即尼布甲尼撒时代，成为巴比伦的囚犯，并同时相信洪水的传说，那么，《创世记》中第一部分的大多数记载，很明显是由巴比伦传说而来。1877 年，一位法国远征探险家去伊拉克探险，发掘了巴比伦文化前的文化遗迹，即前面所提过的苏美尔文化。这项发现使这个区域的历史可追溯到早期埃及时代。1921 年，沿着印度河河谷，就是现在的巴基斯坦，也发现了完全意料之外的文化遗迹。这个文化在公元前 2500～2000 年间曾大放异彩。

然而，埃及和美索不达尼亚文明与希腊文明，并没有紧密的关联，因为在现代西方文化的起源上，曾有过戏剧性的发现。也许，在考古学的历史上，1873 年是最令人兴奋的时刻，这时有一位德国杂货商的小孩，找到了所有传说中最负盛名的一个城市。

这个小孩名叫谢里曼，是一个小荷马迷。虽然大部分的历史

---

① 诺亚方舟的故事记载在《旧约·创世记》第 6 章及第 7 章。——译注

学家将《伊利亚特》史诗当作神话，但谢里曼却一直梦想着生活在特洛伊战争的时代，他下决心寻找特洛伊城，并且以其超乎常人的努力，使自己由一个杂货商的小孩成为百万富翁，因此他便有了足够的经费来从事这项探索工作。1868年，46岁的谢里曼踏上了旅程。他说服了土耳其政府准许他在小亚细亚进行挖掘工作，而他所根据的仅是荷马故事中所提供的极为贫乏的地理线索，最后他决定要在靠近希萨里克村庄的一个土墩处展开挖掘，并威逼当地的居民帮助挖掘。他以完全业余的、非科学的、破坏性的挖掘方式，挖出一系列埋在地底下的古城。最后，他终于发现了特洛伊城，至少他宣称这个城市是特洛伊城。事实上，目前已知这个废墟比特洛伊城古老得多，但谢里曼已经证明，荷马所叙述的传说，并不仅仅是传说而已。

谢里曼并不因为他的胜利而骄傲，他继续前往希腊本土，开始在美锡尼一处荒废的村庄中进行挖掘工作。这个村庄是荷马传说中曾经提过的特洛伊战争时希腊总司令阿伽门农的要塞城市。结果，谢里曼又有了令人惊异的发现：他找到了一个有着巨大墙垣的城市废墟。我们现在已经知道这个城市存在于公元前1500年。

谢里曼的成就鼓舞了英国考古学家伊文思，他开始在克里特岛上进行挖掘工作。在希腊传说中，克里特岛是弥诺斯王统治期间具有早期文明的代表性所在地。在19世纪90年代，伊文思勘察了这个岛，并且揭示了一个光辉灿烂而又绚丽多彩的弥诺斯文明，这个文明比荷马的时代早了许多世纪。克里特岛上也发现了书写文字的碑石。它们是以两种不同的文字书写的，其中之一称为线状B字形。一位年轻的英国建筑师维斯特里斯，借着纯熟的密码技术及语言分析能力，终于在20世纪50年代把它翻译出来，并且证明它是希腊文字的一种。

后来陆续发现的其他早期文明，例如在小亚细亚境内的希泰

及米塔尼文明,以及印度境内的印度文明等等,都相对地表现出希腊历史学家希罗多德和希伯来的《旧约》中所记载的历史,是代表着人类文明中比较先进的阶段。最早的城市至少也有几千年的历史,而那些过着较不文明生活的史前人类,必定可以再向前追溯几千年。

石器时代

人类学家们认为,将文化历史区分为三个重要的时期是非常合适的。这三个时期就是:石器时代、青铜器时代和铁器时代。这种分法是由罗马诗人兼哲学家卢克莱修首先提出来的,到 1834 年时,丹麦的古生物学家 C.J. 汤姆森,把它引用到现代科学之中。在石器时代以前,可能还有一个骨器时代,这是因为当时的人类对坚硬的石头尚无法加工使用,因此动物的角、尖刀样的牙齿以及棍棒状的大腿骨,便供当时人类在许多方面的利用了。

当然,青铜器时代和铁器时代是较近的时代。在文字出现前的那段时期,我们先讲一下石器时代。**文明**(由拉丁语"城市"而来)可能是公元前 8000 年左右才产生的,那时人类首先由狩猎转变为农业,学习驯养动物,发明陶器及新型工具,而且开始发展永久性社会团体和安定的生活方式。因为从这个转变时期所留下来的遗物,可以以新型石具与旧型古具来区分,所以这段时期被称为**新石器时代**。当时人们制造石具的方法较为新式也较进步;虽然这把《圣经》上所记述的创世时间提前了好多,但人类在那段时期,确实已是相当古老了。

新石器的革命似乎是开始于近东地带,即在欧洲、亚洲及非洲的交叉口上(这里是青铜器及石器时代的发源地)。新石器的革命慢慢地由近东扩展到世界的其他地区,一直到公元前 3000 年才到达西欧及印度,公元前 2000 年才到达北欧和东亚,到公元前约

1000 年或更晚才到达非洲中部及日本。非洲南部及澳大利亚则一直到 18～19 世纪才脱离旧石器时代。虽然早在公元 1 世纪，在中美洲和秘鲁曾形成一个也许是由马雅人创始的高度文明，但当欧洲人于 16 世纪到达美洲时，大部分美洲人仍然过着狩猎生活。

有关人类在新石器时代以前的文化证据，到 18 世纪末才在欧洲开始出现。1797 年，一位英国人弗里尔在索夫克挖掘出一些简陋的打火工具，这些工具像是新石器时代的人类所制造的很原始的工具。它们是在地底下 4 米深处被发现的，如果以正常的沉积速率来估算，它们的年代应该是相当久远的。与这些工具埋在同一地层的，有些是已经绝种的动物的骨骼。值得注意的是，19 世纪时，有两位法国考古学家布歇·德·彼尔特和拉尔泰，发现了更多象征是远古人类的遗物。例如 E.A. 拉特发现一颗长毛象的牙齿，而且在这颗牙齿上，刻画有长毛象的美妙图案，所以很明显，这些图案是模仿活生生的长毛象而描绘出来的。长毛象是一种多毛种的象，它在新石器时代之前，便已在地球上绝迹了。

考古学家们努力搜寻那些早期的石具。他们发现，这些石具可以归属于两种时代，一种是比较短期的中石器时代，一种是比较长期的旧石器时代。旧石器时代又可分为早、中、晚期。而最早的旧石器时代，似乎可追溯到 100 万年以前。

究竟旧石器时代的工具是由什么动物做成的呢？结果证明是旧石器时代的人类。因为至少在旧石器时代的晚期，人类比一般狩猎动物要进化得多。1879 年，一位西班牙贵族绍图奥拉，探察了几年前发现的洞穴，这些位于西班牙北部桑坦德市附近的阿尔塔米拉的洞穴，自从史前时代就已被滑石封锁住了。当他挖掘到一个洞穴的底部时，跟在他身后的 5 岁大女儿突然大喊：公牛！公牛！他继续寻找，然后在这个洞穴的墙上，发现了许多不同动物的图案，这些图案有鲜明的色彩以及活泼的细节。

人类学家们难于相信原始的人类能够描绘出如此复杂且经过润色的图画，但一些画中的动物，的确是已经绝种的生物。法国考古学家步日耶，在法国南部的洞穴中，也同样发现了类似的艺术作品。所有这些证据，最后都促使考古学家们同意步日耶坚定而正确的见解，推断这些艺术家们一定是旧石器时代晚期的人类，大约是在公元前 1 万年左右。

对于旧石器时代人类的体形外表，我们已略知一二。1868 年，一群开凿铁路路基的工人，在法国南部克罗马努洞穴中，发现了 5 具人类的骸骨，这些骨骼毫无疑问是属于**智人**，然而其中一部

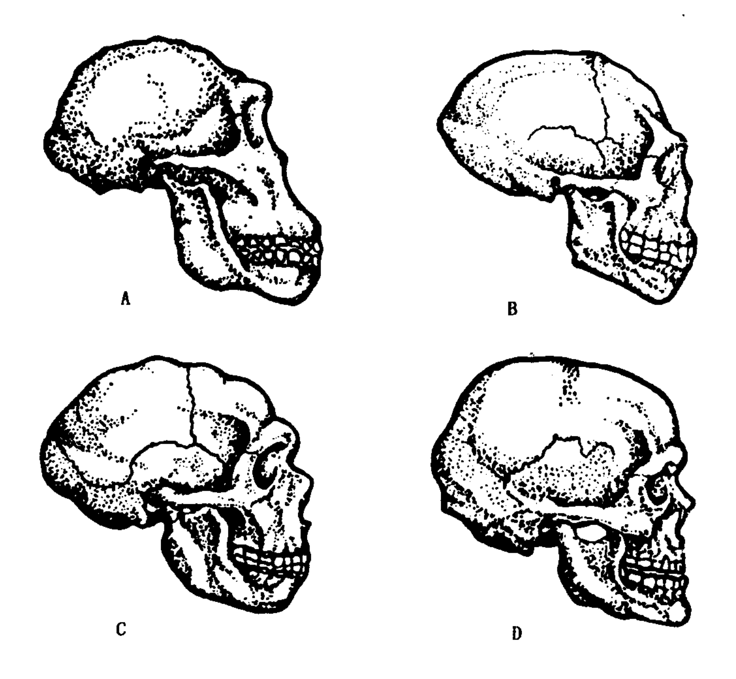


图 16－4　四种重新组合的头盖骨：(A) 东非猿人　(B) 直立猿人　(C) 尼安德特人　(D) 克罗马努人

分以及其他地方发现的类似骨骼，根据地质学上的证据，表明似乎已有3.5万～4万年的历史。他们称当时的人为**克罗马努人**（图16-4）。克罗马努人的平均身高要比现代人高一些，且有一颗大脑袋。艺术家们将他们描绘成英俊结实的模样，看起来很具现代感，似乎能够和现代人进行交配。

追溯远久以前的人类，可发现他们与现在在地球上广泛分布的人类品种并不相同。约在公元前2万年左右，人类还只局限在非洲、亚洲和欧洲这些广阔的地区。后来，人类的狩猎地带开始穿越狭窄的海洋通道，进入到美洲、印度尼西亚和澳大利亚。一直到公元前400年，勇敢的波里尼西亚航海家，在没有罗盘引路的情况下，穿越广阔的太平洋，而且仅仅以他们的小木舟，在太平洋的群岛上开拓殖民地。最后，一直到20世纪，第一个人类的足迹才踏上南极大陆。

如果要追溯某个时期只局限在地球部分土地上的史前人类的种种情况，就必须要有某些计时的方法，至少也要有粗略的计时方法作为依据。

例如，考古学家们曾经利用年轮来达到这个目的。这个方法叫做**树木年代学**，是1914年由美国天文学家道格拉斯所介绍的。年轮在湿润的夏季中，由于长出很多新木材，因此它们的间隔就比较宽；如果是干燥的夏季，它们的间隔就比较窄些。年轮经过一世纪又一世纪的生长，仍然非常明显。原始人类所建住所的一块木头，如果它的年轮形式与我们想象中某一个时代的木头相配合，那么这个原始住所的年代便可以知道了。

一个与此相类似的方法也可应用于沉积岩层或**纹泥**。在斯堪的纳维亚那样的地方，每逢夏天冰川溶解都会产生明显的纹泥。如果是较温暖的夏天，产生的纹泥层就比较厚，而较凉爽的夏天，产生的纹泥层就比较薄，而且纹泥的花纹也有明显的差异。用这

种方法研究瑞典的历史，可以追溯到18 000年以前。

一项更为令人惊奇的技术，在1946年被一位美国化学家利比研制出来。利比的工作来源于1939年美国物理学家科夫的发现：宇宙射线对大气的冲击会产生中子。氮原子会与这些中子反应，而在每10个反应中，有9个反应能产生放射性碳-14原子(^{14}C)，第10个反应则产生放射性氢-3原子(^{3}H)。

结果，大气中总是含有少量的^{14}C原子(及更少量的^{3}H原子)。利比解释说，由于宇宙射线的缘故，大气中所产生的放射性^{14}C原子，会以二氧化碳的形式，进入到所有的活组织中；首先是被植物吸收，然后辗转进入到动物体内。只要动物或植物仍活着，它们就能继续吸收放射性碳，而且在其本身组织内维持一定的水平。一旦有机体死亡，便不再吸收碳，这时组织内的放射性碳便逐渐减少，而其分解的过程是以半衰期为5 600年的速率进行的。因此，任何一块古代遗留下来的骨头，任何一段古代的木炭，或者任何种类的有机物遗迹，都能通过测量剩余放射性碳的含量，而得知它们的年代。这个方法，可以合理而正确地测量到3万年以前的遗物，而这段时期，正好是前面所说过的从克罗马努人时代开始到古代文明的历史。因为发展了这种考古测量学的技术，利比于1960年获得了诺贝尔化学奖。

克罗马努人并不是考古学家们挖掘出来的第一种早期人类。1857年，一位挖掘者在德国莱茵河腹地的尼安德特河谷，找到了部分头盖骨以及一些长骨，这些骨头看上去基本上是人类的骨头，但仅仅是原始人类的骨头。由头盖骨来看，这种人类有陡峭倾斜的前额和非常厚重的眉梁。一些考古学家认为，这些头盖骨是一位曾因患病而使骨头变形的人类遗骸；但是，几年以后，其他类似的骨头陆续被发现，而一幅详细的尼安德特人的图像也被画了出来。尼安德特人是一种短小、背部佝偻的两足动物，男性平均略高

于150厘米，女性则较矮。这种头盖骨所形成的空间，足够容纳与现代人相同的大脑和小脑(图16-4)。人类学艺术家把尼安德特人描绘成圆筒胸部、多毛、浓眉、无下巴及表情粗鲁的模样；这幅画是由法国古生物学家布尔在1911年时画出来的；布尔是第一位几乎完整地描绘出尼安德特人的专家。布尔所描绘的骨骼，经由现代的科学方法检定，显示出有严重的关节炎。一副正常的骨骼会使我们联想到更多的人类形象。事实上，如果一位尼安德特人把胡子刮干净，剪短头发，而且穿上合身的衣服，那么，他走在纽约第五大街上时，可能不会引起任何注视的目光。

尼安德特人的踪迹不只在欧洲才有，以后在北非、苏联的西伯利亚，巴勒斯坦和伊拉克等地也都有发现。大约有100种不同的骨骼，分布在40个不同的地区，而这种人类可能是生活在3万年以前。与尼安德特人的遗骸相类似的罗得西亚人和梭罗人的遗骸，在分隔很远的地方被发现了。罗得西亚人是1921年在非洲南部的北罗得西亚(现在的赞比亚)挖掘出来的；而梭罗人则是1931年在爪哇的梭罗河两岸发现的。他们被认为是人属的不同种类，其学名分别是Homo neanderthalensis(**尼安德特人**)、Homo rhodesiensis(**罗得西亚人**)及Homo solensis(**梭罗人**)。但是一些人类学家及进化论者主张，上述这三种人类，应该和**智人**归于同一个种，而把他们作为**变种**或**亚种**。我们称为智人的那些人类，与尼安德特人是同一时期的，而且人们也曾发现介于这两者之间的中间型遗骸，表明此二者之间可能相互交配过。假如尼安德特人以及他们的堂表亲们，能够归属到智人，那么，智人可能已有25万年的历史了。

原始人类

达尔文的**《物种起源》**一书,促使现代的科学家们对于亚人类的祖先,展开广泛的探索。亚人类的祖先介于我们人类以及假想的类人猿的祖先之间,被新闻界称之为“失落的环节”。对于这项探索,必然会碰到许多困难。灵长类动物是相当聪明的,他们极少会被陷阱捉住而形成化石。据估计,若是漫无目的地去搜索灵长类动物的骨骼,那么可能发现这些骨骼的概率仅为万亿分之一而已。

19 世纪 80 年代,一位荷兰的古生物学家迪布瓦认为,可能在东印度群岛(现在的印度尼西亚)发现人类的祖先,因为东印度群岛现在仍有许多类人猿活跃着(而且因为这些群岛以前曾属于荷兰的殖民地,当时他可以方便地进行工作)。令人奇怪的是,迪布瓦在群岛中较大的一个岛——爪哇岛上,发掘出介于类人猿与人类之间的一种动物。经过 3 年的探索,他找到一个头盖骨的顶部,它比类人猿的大而比人的小。第四年,他又找到了一个类似中间型的大腿骨。迪布瓦把它称为**爪哇人**,学名是 Pithecanthropus erectus(又称**直立猿人**,也称**爪哇直立猿人**,图 16-4)。半个世纪以后,大约是 20 世纪 30 年代,又有一位荷兰人凯尼格斯沃尔德,发现更多爪哇人的骨头,这些骨头可组合还原成一个小脑、浓眉的动物,与尼安德特人有隐约的相似。

与此同时,还有其他挖掘者在靠近北京的周口店洞穴中,找到了原始人类的头盖骨、颚骨及牙齿。这类原始人类称为**北京人**。据说这些东西早就被发现过,大都被送进中药店里当作药材用。第一个完整的北京人头盖骨[①]在 1929 年的 12 月被陈列出来。这种北京人与爪哇人是非常相似的。北京人大概是生活在 50 万年

① 北京人的第一个头盖骨是中国古生物学家、地质学家裴文中先生于 1929 年发现鉴定的。——译注

以前，会用火，而且拥有骨具和石具。后来考古学家陆续汇集了45个北京人的骨骼；但在1941年，由于日本侵略者企图拿走这些化石，而使得它们消失踪迹。1949年，中国考古学家重新挖掘，找到40个北京人的骨骼碎片，包括男、女两性的及各种年龄的。

北京人（也有人称北京猿人）的学名是Sinanthropus pekinensis，但更深入探查这些小脑型的**原始人类**，就会发现将北京人与爪哇人分别类属于两个不同的属是行不通的。德国血统的美国生物学家迈尔认为，把北京人与爪哇人和现代智人分在不同的属是错误的，所以他们现在被认为是**直立猿人**的两个变种。直立猿人的最早成员，大约生活在70万年以前。

在爪哇岛上还发现有另一种小头颅的原始人类，但是如果说人类起源地就在爪哇岛，则是不可能的。早期北京人所在的广大亚洲陆地，曾有一时期被认为是人类的诞生地，但是随着20世纪的前进，人们把注意力更坚定地集中在非洲地区。因为非洲是灵长类动物最多的大陆，特别是高等灵长类动物。

英国科学家达特及布罗姆，在非洲获得了重大的发现。1924年的春天，在非洲南部坦斯附近的石灰石采石场进行爆破的工人，捡到了一小块头盖骨，看起来像人类的头盖骨。他们将这块头盖骨送给在约翰内斯堡工作的解剖学家达特，达特立刻鉴定出这是介于人类及类人猿之间的一种动物，并将它命名为Australopithecus africanus(**南方猿人**)。当他宣布这项发现的报告在伦敦公开时，人类学家们认为他犯了大错，误将猩猩当作类人猿。但是，长期以来一直认为人类是起源于非洲的热心的化石搜索家布罗姆，急忙跑到约翰内斯堡的达特那里，并且宣称南方猿人是最接近人类与类人猿之间的“失落的环节”。

在以后的几十年中，达特、布罗姆以及其他一些人类学家，找到了更多南方猿人的骨骼及牙齿，以及他们用来猎取动物的棍棒、

被他们杀死的动物骨骼和他们曾经居住过的洞穴。南方猿人矮小、头颅小、有一个大鼻子的脸孔，在许多方面看来，都比爪哇人更不像人类。但南方猿人比直立猿人具有更多类似人类的眉毛及牙齿，而且也会直立行走，会使用器具，可能还有原始的说话形式。简单来说，南方猿人是至少有 50 万年历史的原始人类的一个非洲变种，比直立猿人更为原始。

起初，原始人类的亚洲和非洲变种之间，谁先谁后，并没有明显的分界线。但在肯尼亚出生的英国人 L.S.B. 利基和他的夫人玛丽共同研究指出，非洲变种绝对地比亚洲变种更早出现。L.S.B. 利基以无比的毅力和耐心，研究出在非洲东部有可能出现早期人类化石的地区是奥尔杜韦峡谷，就是现在的坦桑尼亚。1959 年 7 月 17 日，玛丽在这个地方找到了一个头盖骨的碎片，完成了她长达四分之一世纪的搜寻。当把这些碎片重新组合时，形成了一种尚未被发现过的小头颅原始人类。根据各项特征，表明这种原始人类比类人猿更接近人类，因为他们会直立行走，而且在遗骸四周围绕有许多由小鹅卵石制成的工具。利基夫妇将他们所发现的原始人类称为**东非猿人**(图 16 - 4)。

东非猿人似乎不是现代人的直系祖先，一些已有 200 万年历史的古老化石可以作证。这些 200 万年历史的人类称为**灵活人**(Homo habilis)，他们高约 137 厘米，有双手，还有较灵活的大拇指(所以他们被称为灵活人)，他们在这方面完全与人类相像。

1977 年，美国考古学家约翰逊，发现了一个也许已有 400 万年历史的原始人类的化石。后来又发现了不少的骨头，刚好可以组成一个完整个体的 40％左右。他是一种矮小的原始人类，骨架细瘦，大约 107 厘米高，称为**阿法南猿**，学名为 Australopithecus afarensis，但他还有一个较为人们熟知的名称**露西**。

关于露西最有趣的一项事实是，他已和我们现代人一样，是不

折不扣的两足动物。区分原始人类与类人猿的第一个重要的解剖学的特征，就是两足的发展情况，尤其在原始人类的头颅大小与黑猩猩无多大差别时，这一点更加重要。事实上，有人主张原始人类之所以能够进化为两足动物，乃是因为在最后的 100 万年前，原始人类的头颅忽然明显地膨大。从此，人类的前肢可自由活动，形成灵巧的双手，用来感受与利用不同的物品，而脑中广博的知识也使得生存的机会大增。这里所说的机会，是指经由自然选择的过程之后所遗留的存活概率。

露西可能是原始人类系统中两个旁支的共同祖先。其中之一是南方猿人，他们的脑容量为 450～650 立方厘米，而且在 100 万年前就已经绝种了；另外一种是古老的原始人类，他们是人属的成员，由**灵活人**到**直立人**（脑容量约为 800～1 100 立方厘米），而最后是智人（脑容量大约为 1 200～16 000 立方厘米）。

除了露西之外，我们还找到一些动物的化石，然而它们却更为原始，不可能称之为原始人类。我们考据原始人类的共同祖先可能就是露西。原始人类现仍存在的有：人、类人猿、黑猩猩、大猩猩和一些长臂猿品种。

本世纪 30 年代初期，刘易斯在印度北部发现了拉马猿的上颚骨。这块上颚骨比其他除了人类之外的灵长类动物的上颚骨，更接近人类；它大概已有 300 万年的历史。1962 年，利基发现了一个经过杂交的品种，以放射性示踪的方法追踪，可知其有 1 400 万年的历史。

辟尔唐人

人类学家曾长期被一种化石所迷惑，这种奇异的化石看起来像是介于人类与类人猿之间的“失落的环节”，但难以令人信服。1911 年，英国苏塞克斯郡辟尔唐附近的筑路工人，在碎石场上找

到了一块石老又残破不堪的头盖骨。这块头盖骨吸引了一位律师道森的注意，他把这块头盖骨交给一位在英国博物馆工作的古生物学家 A.S. 伍德沃德。这块头盖骨的眉梁又高又细，看起来较尼安德特人更现代。道森和 A.S. 伍德沃德前往碎石坑，去寻找其他部分的骨骼。有一天，道森当着 A.S. 伍德沃德的面，无意中在当初工人发现头盖骨碎片的地方，找到了一块颚骨。这块颚骨与其他碎片的颜色一样是红棕色的，因此可表明这些骨头是来自同一个头部的。但这块颚骨却与人类的不同，反而像是类人猿的颚骨。同样奇怪的是，这块颚骨中的牙齿，虽然长得像类人猿用来磨碎东西的牙齿，但是实际的用途，则像现代人类一样，是用来咀嚼的。

A.S. 伍德沃德认为，这种一半像是类人猿，一半又像是人的动物，可能具有发育较完全的脑和萎缩的颚部。他将这个发现公诸于世，并称为**辟尔唐人**，其学名为 Eoanthropus dawsoni。

人类学家们在包括这块颚骨在内的其他化石中发现，他们的颚骨与头盖骨是同时生长的，由于这些事实，就使得辟尔唐人变得更异乎寻常。最后，到本世纪 50 年代初期，三位英国科学家奥克利、W.L.G. 克拉克和维纳决定进一步探个究竟。结果发现那是一个骗局。因为这个头盖骨是属于现代类人猿的头盖骨，是被其他人故意放置在那儿的。

辟尔唐人的故事，可能是最著名、最令人困窘的例子了。科学家们竟被如此的恶作剧愚弄了很长的一段时间。以现在的眼光来看，科学家们被如此笨拙的玩笑所愚弄，实在令人惊奇，然而事后再来认识已没有什么价值。但是必须记住，在 1911 年时，对于原始人类的进化，人们知道的非常少，而今天，一些类似的恶作剧，却仍然可以愚弄那些无见识的科学家。

另外一个关于灵长类动物的不完整故事，却有一个令人愉快

的结局。1935年，凯尼格斯沃尔德在香港的一家中药房中，发现正在出售一块巨大而且像人类化石的牙齿，这个中药师认为那是“龙齿”，具有很高的医疗价值。于是凯尼格斯沃尔德在第二次世界大战之前，遍访了其他的中药师，而且找到了4颗类似的臼齿。

从这个牙齿与人的牙齿相似的情况来看，他们可能是有270多厘米高的巨大人类，而且是曾经一度自由自在地生活在这个地球上。这项理论有被接受的趋势，因为也许正如《圣经》上所说：“那时候有伟人在地上。”（《创世记》第6章第4节）。

从1965年到1968年间，又陆续发现了4块颚骨，而且与前面提过的牙齿也正好相嵌合。巨型猿是现在所知的最大型的灵长类动物，但是很明显，它是一个类人猿，而不是原始人类，尽管它有看起来与人类相似的牙齿。它与大猩猩非常相似，直立站起来有270厘米高，体重有270多公斤。它可能与直立猿人是同一时期的，而且饮食习惯相同。当然，它在至少100万年以前，便已绝种，而且不可能对《圣经》上的记载负什么责任。

种族差别

人类进化的结果产生了现存惟一的种，这是值得重视的；也就是说，在好几种原始人类中，仅仅有一种存活下来。所有的人，男人和女人，不管其外表如何差异，都是同种的人，学名都是Homo sapiens（**智人**），而黑人与白人之间的差别，也只是像马匹的颜色不同一样。

自从出现文明以来，人类对于种族间的差别，都曾有或多或少的敏感。他们经常以情绪来对待其他种族，这些情绪包括由好奇、屈辱到忿恨等等。现代白人与黑人之间的冲突，正是由于少数存有种族差别观念的人们所引起的持久性悲剧。白人通常被认为是属于高加索人（这个名称是德国人类学家布鲁门巴哈1775年首先

使用的。他有一种错误感觉，认为高加索地方有最完美的人类代表。布鲁门巴哈也把埃塞俄比亚的黑人和东亚的人种，归属于蒙古人，这个名称至今偶尔仍有人使用)。

白色人种与黑色人种之间的冲突，也可以说是高加索人与埃塞俄比亚人之间的冲突，这种冲突在15世纪时，达到最高峰。因为当时葡萄牙远征军到达非洲西岸，抢走当地黑人，把他们当作奴隶贩卖，形成了一种赚钱的行业。由于这个行业日益发展，一些国家把经济建立在奴隶劳工的基础上，所以便以**《圣经》**、社会道德、甚至于科学的名义来说明奴役黑人是合理的。

根据拥有奴隶的奴隶主对**《圣经》**的解释(至今仍有许多人相信)，黑人是含[①]的后裔。照这样看来，完全应验了诺亚的咒语："迦南当受诅咒，必给他弟兄作奴仆的奴仆。"(**《创世记》**第9章第25节)。事实上，这个咒语指的是含的儿子迦南和他的后裔迦南人。迦南人在迦南统治的末期，被以色列人贬为奴隶。这是**《圣经》**的希伯来作家，为了辩护迦南人被奴役的事实所写的，而无疑这段圣经正是对这项事实的诠释。但无论如何，这个事件的重点在于迦南人的的确确是白种人。而拥有奴隶者却歪曲了圣经的解释，虽然经过几个世纪之后仍有深远的影响，但他们的用意却只是为镇压黑人所做的辩护而已。

近代的所谓"科学的"种族差别论者，已逐渐站不住脚了。他们声称黑人比白人低等拙劣，是较不进化的种族。举例来说，黑皮肤和大鼻子就容易使人联想到类人猿。但从这个例子来看，这种解释正好导致了相反的结果。黑人是所有人类族群中毛发最少的，而且其毛发卷曲而柔软；至于白人又长又直的毛发，比黑人更接近类人猿。同样，以黑人的厚唇来说，白人的薄唇反而更接近类

---

① 含是诺亚的儿子，迦南的父亲。——译注

人猿了。

这项事实说明了,任何企图借助进化程度将人类的不同族群分级,就好像拿着鲁钝的工具去完成精细的工作一样,有点可笑。人类都只属于一个种,即智人,而且到目前为止,由自然选择所发展出来的差异,仍然微不足道。

在热带和亚热带地区居住的人,黑色皮肤对防止日晒有显著的效果。北欧人的白皮肤是为了使皮肤中的类固醇能形成足够的维生素 D,而尽可能地吸收微弱日光中的紫外线。爱斯基摩人和蒙古人的小眼睛,是为了防止雪花所反射的强烈刺眼的光芒,和防止沙漠中的飞沙吹入眼中,在他们生长的地方,都有其存在的价值。欧洲人的挺直鼻梁及狭窄鼻道,使他们能够适应北方的寒冷气候,而不致于冻伤鼻子。诸如此类的例子还有很多。

由于智人的发展,使我们居住的这个行星成为一个文明的世界,因此不但过去的发展没有造成人体结构的基本差异,在将来也不可能发展出差异来,而且异族通婚的结果正在使人类的遗传因子趋向稳定的均衡,美国黑人就是一个最好的例子。尽管黑人和白人通婚受到社会的阻挠,但据估计,在美国有 4/5 的黑人,他们的祖先是白人。也许在 20 世纪结束之前,北美已无纯正血统的黑人了。

血型与种族

人类学家们对于种族仍然具有强烈的兴趣,其原因主要是想研究出早期人类的迁移情况。想要鉴别种族是不容易的事。例如,想用皮肤的颜色来作鉴别种族的标准是不容易的。比如澳大利亚的土著和非洲黑人,都是黑色的皮肤,但他们之间的关系,都不如与欧洲之间的关系密切。头型也不是很好的鉴别标准,例如,1840 年,瑞典的解剖学家雷齐乌斯提出长头与短头两个名称,头

长与头宽的比乘以 100，称为**头指数**，若以头盖骨作为基准，则为**头颅指数**。根据这些指数差，可以将欧洲人分为日耳曼民族、阿尔卑斯民族和地中海民族。每个小群之间的差别非常小，而每个小群内个体的差别范围则很广。除此以外，缺少维生素，或者在婴儿时期睡的摇篮形状等环境因素的不同，都会影响头颅的形状。

后来人类学家终于找到了鉴别种族的极好的标准，那便是血型。美国波斯顿大学的生物化学家博伊德，在血型与种族鉴定的关系上，有显著的成就。他指出，血型是以简单而明了的形式遗传给后代的，不会受环境的影响而改变，而且在不同的种族，血型有着明显不同的分布。

美洲的印第安人是一个特别好的例子，有一些部落，几乎全部是 O 型，其他则是 O 型中混杂着很大比例的 A 型，而事实上印第安人中没有 B 型或 AB 型血型的人。如果在美洲印第安人中，有一个人血型是 B 型或 AB 型，那么，几乎可以肯定，他的祖先是欧洲人。澳大利亚土著则是 A 型中混杂着大比例的 O 型，事实上，他们也没有 B 型血型。但是，澳大利亚土著和美洲印第安人的差别在最近才被发现，澳大利亚土著含有高比例的 M 血型及低比例的 N 血型，而美洲印第安人则相反，具有高比例的 N 血型及低比例的 M 血型。

在欧洲和亚洲，民族之间混杂的现象就更为普遍，因而他们之间的差别也就更少了，但仍然非常明显。例如，在伦敦有 70%的人口是 O 型，26%是 A 型，而 5%是 B 型。另外，在苏联的哈尔科夫的人口中，其血型的分配是 60%为 O 型，25%为 A 型，15%为 B 型。一般说来，在欧洲，愈向东 B 型人口的数量愈多；在中亚，B 型所占比率高达 40%。

从现在的血型基因也可表明有关过去迁移的一些尚未完全消失的记号。B 型渗透到欧洲，可能是公元 5 世纪时匈奴人的入侵

以及 13 世纪时蒙古人的入侵所留下来的证据。在远东,类似的血型研究似乎表明,A 型基因是由西南方渗透到日本的,而 B 型基因则是从北方渗透到澳大利亚的。

特别令人感兴趣而又出乎意料的是,在对 Rh 血型分布的研究中发现,欧洲早期的人类迁移曾到过西班牙。(Rh 血型的名字来源于对恒河猴红细胞的抗血清血型反应。控制 Rh 血型的基因,至少有 8 个等位基因。其中 7 个称为 Rh 阳性,而第 8 个称为 Rh 阴性,因为只有当一个人同时由父母双方得到这个等位基因时,它才显示出其作用。)在美国,大约有 85%的人口是 Rh 阳性,15%是 Rh 阴性。大部分的欧洲民族,也有相同的比例。但是,奇怪的是,西班牙北部的巴斯克地区却正好相反,有 60%的人口是 Rh 阴性,而 40%是 Rh 阳性。值得注意的是,巴斯克语言与任何其他欧洲语言没有任何关联。

或许可以得出这样的结论,那就是巴斯克人是史前时代被一个 Rh 阴性民族侵略后的剩存者。假定这个民族其后又被另一个 Rh 阳性的民族侵略,并被禁锢在高山上,而成为惟一的大量早期欧洲人族群。目前存在于欧洲其他地区及美洲殖民地的欧洲人后裔中的少数 Rh 阴性基因者,可能就是由那些早期欧洲人传续下来的。

亚洲人、非洲黑人、美洲印第安人以及澳大利亚土著人,几乎全都是 Rh 阳性的。

人类的未来

想要预测人类种族的未来,是一件非常危险的事情。这种事

情最好留给神秘家或是科学幻想作家来做(虽然,从某一种意义来说,我自己也是一个科学幻想作家)。但是对于未来,我们仍可确定一点,那就是,假如没有世界性的大悲剧,例如全球的核战争、外层空间的侵袭、或是大范围的新的致命流行病,人类的人口数将会很快地增加。现在的人口是两个世纪前的5倍之多。某些人曾估计,在人类生存的60万年间,共有770亿人口。如果真是如此,目前人口大约是有始以来人口总数的6%,而且人口将会以可怕的速度继续增加。

我们因为没有古代人口数目的调查资料,因而我们必须以我们所了解的生活条件为基础,做一个粗浅的估计。生态学家估计,农耕时代以前的食物来源,包括猎物、渔获物、捡集野生果实及核果等等,不能够供应多于2 000万的人类生存。事实上,旧石器时代的人口,大约是1 000万或者只有约650万。照这样来计算,公元前6000年的总人口,不可能多于600万到1 000万之间,少于现在上海或墨西哥城等单一城市的人口。而当美洲被发现时,在现在美国这片土地上,以生产食物而自给自足的印第安人总数,不会超过25万,相当于俄亥俄州达顿市的人口分散在整个北美洲大陆上。

人口膨胀

随着新石器的改革以及农业的发展,世界人口的数目第一次往前迈进了一大步。英国生物学家J.S.赫胥黎(“达尔文的斗犬”T.H.赫胥黎的孙子)估计,每1 700年人口数目就从原来的数目增加一倍。在青铜器时代的初期,全世界的人口大约是2 500万;铁器时代的早期,人口约有7 000万;公元纪元初期的人口约有1.7亿,其中1/3居住在罗马帝国,另1/3属于中国,其余的1/3则散布在各地。到公元1600年,全球的总人口数约为5亿,比现

在整个印度的人口数目还少。

比较稳定的人口增长，在公元1600年便告停止，从这时开始人口膨胀。世界探险家在空旷的新大陆发现，在4 700万平方公里的土地上，有欧洲人的殖民。18世纪的工业革命，同时加速了人口与食物的增长，即使在较落后的中国与印度，也出现了人口膨胀的现象。至今，没有用几千年，而只在短短不到200年的时间之内，总人口数就增加了一倍。人口数由公元1600年的5亿，膨胀到1800年的9亿。因为总人口数以超乎寻常的速度发展，到了1900年，已达到16亿。在20世纪的前70年中，尽管曾有两次世界大战的死伤，总人口数仍上升到了36亿。

1970年，全球人口数以每天22万或者是每年7 000万的速率增加。这样的人口增加量，如以百分比来计算，每年为2%（1650年估计年增长率仅为0.3%）。根据这样的增加速率，全世界在大约35年内就会增加一倍，而在某些地区，例如拉丁美洲，所需的时间可能还会更短些。

现在，人口学家强烈倾向于马尔萨斯的人口理论。这个理论在1798年发表时，并不是很流行。就如同在前面所说过的，马尔萨斯在他的**《人口论》**中提到，因为人口的增长总是比食物供给来得快速，所以会定期地产生不可避免的饥饿与战争。暂且不管他的预测是否正确，事实上，全世界总人口数在过去的几个世纪中，一直十分快速地增长，而无明显的减缓趋势。过去，人口的问题还不严重，人类仍然十分幸运地拥有地球上大部分尚未开发的土地可以生产，增加食物的供应。然而，现在我们已经没有可以耕作的新土地。如今，全世界有一大部分人口的食物仍然供应不足，因此我们必须花费很大的努力，去解决这个长期性的营养不足问题。确切地说，海洋应该可以更合理地开发，以增加更多的食物。许多地区可以使用化学肥料，以增加农产物的产量，另外，如正确的喷

洒杀虫剂，也可以减低虫害所造成的损失。此外，还有些可以直接促进生产的方法。例如由日本的生物化学家在第二次世界大战以前研究成功的植物激素中的**赤霉素**(这种赤霉素在 50 年代才引起西方的注意)，能加速植物生长；在饲料中添加一些抗菌素，也可以加速动物的生长(或是由于压抑肠内细菌的功能，使其无法与小肠竞争食物，它的作用温和，但能使细菌丧失感染力)。尽管有这些增加食物的方法，但嗷嗷待哺的新生人口，仍然以惊人的速度增加，因此费尽力气采取各种方法，也只能使全世界的人口维持在目前不算理想的地步而已。全球有 3 亿 5 岁以下的小孩因为营养不良而导致永久性的脑部损伤。

淡水资源尽管在地球上如此普遍，但也渐渐感到不够用(现在仍没有受到重视)。如今全世界每天消耗的淡水量超过 2 万亿加仑；虽然总降水量是这个数字的 50 倍(雨水是淡水的主要来源)，但是，也只有很少一部分的雨水能够再重复使用。仅仅在美国，每天就使用 3 500 亿加仑的淡水，而且总降水量中只有 10%能被人类以某种方式所消耗。

由于淡水逐渐缺乏，所以对目前世界河川与湖泊的归属问题争论不休(例如，叙利亚与以色列争夺约旦河；亚利桑那州与加利福尼亚州彼此争取科罗拉多河的归属权)。水井也愈挖愈深；全世界有许多地方，地下水位下降是个十分严重的问题。保留淡水有各种不同的方法，在澳大利亚、以色列及东非一些地区，他们使用长碳链的醇类覆盖于湖泊及蓄水池之上。长碳链的醇类在水面上扩散会形成一个分子厚的薄膜，以阻止水分的蒸发，而不会污染水质(当然，污水和工业废水的增加也是近代减少淡水供应的原因)。

最终，我们似乎必须由海洋来获得淡水，因为从长远的观点来看，只有海洋才可以无限制的供应淡水。最常采用的海水淡化的方法，是蒸馏及冷冻。除此以外，也可以采用只能让水分子通过而

不能让其他离子通过的薄膜来淡化海水。苏联及美国这两个彼此竞争的国家，在其他问题上，他们是绝对不可能一起合作的，现在竟然一起讨论解决海水淡化的问题，可见这个问题是多么重要了。

我们应该对人类的才智保持乐观的态度，并且承认人类的聪明才智是无可限量的。让我们这样想一想，利用神奇的科学技术，人们可以做到下面几件事情：使地球上的食物增加 10 倍；开采海洋中的金属矿产和撒哈拉沙漠中的石油以及南极大陆的煤矿；控制太阳能；发展核动力等等。但是，这样做了又如何呢？如果人口一直以目前的速率增加，所有的科技发明仍然会使我们像西叙福斯[①]一样，不停地在高峰上做无谓的努力。

如果人们未能肯定是否接受这个悲观的预测，那么，让我们来看一看几何级数增长的威力吧！据估计，全世界或者说整个地球上的生物总重量，大约是 2×10^{19} 克，如果是真的话，在 1970 年全人类的总重量，约占全球生物总重量的 1/100 000。

如果地球上的人口继续每 35 年就增加 1 倍，那么，到 2570 年，人口将会增加 10 万倍。到那时，人类将超过地球上所有生物所能供应的限度，而难于再继续增加了。在这样的情况下，到 2570 年时，地球上将全数为人类，而不再有其他生物，如果人类还想继续生存，只好吃人肉了。

尽管人类还可以用酵母培养、水耕法(即把植物种在含营养的液体中而不是种在土壤中的种植方法)等等，但是想要将无机物制造成食物，仍然没有任何可以想象的方法，能够追赶上 35 年人口就增加一倍的无情速度。以这个速度，到了 2600 年，人口将会达

① 西叙福斯是希腊神话故事中一个诡诈而贪婪的人，因而神罚他死后在阴间推一块大石上山，但这石推到山上又会自动滚下，永远放不到山上。“西叙福斯的劳动”或“西叙福斯的石头”已成为谚语，指永远做徒劳无效的事。——译注

到 63 000 亿。到那时,我们人类的地球将只能容纳每人站立的空间,就是包括格陵兰和南极大陆在内,平均每个人在地球表面也只拥有 0.2 平方米的空间。事实上,如果人类以目前这种速度增加,那么,到了 3550 年,人类的总重量将相当于整个地球的重量。

也许,有人会想到移居到别的星球去,并且在那里也有食物。假如有 1 万亿个可供人类迁移居住的星球,人类又可以随意前往居住,但如果一直以目前人口增加的速度持续下去的话,每个可供人类移居的星球,到了 5000 年,将仍只剩下供每个人站立的空间而已。到了 7000 年,所有人类的总重量将会相当于我们目前所知的宇宙总重量。

很明显,人类不可能再在忽略水、食物、矿物和能源的情况下,以目前的速率继续增加下去,我不是说"不能"、"不敢"或是"不应该",我很坦率地说"根本不可能"。

确实,如果人口的数量以目前的速度持续增长,限制我们生存的将不只是数量而已。地球上每分钟所增加的人口,会消耗掉更多无法替代的资源,使用掉更多的能量,而且产生更多的废物和污染。虽然人口每 35 年就增加 1 倍,但是按照 1970 年能量的使用率,35 年之后,能源的消耗量将提高 6 倍,而不是 1 倍。

盲目污染与环境毒害一年比一年严重,远比单纯的人口增长更为可怕。例如,化学设备中所排放的废气,家庭和工厂燃烧油所产生的污烟,都涌入空气中。数以万计的汽车所排出的汽油味与燃烧产生的氧化物,更不要说一氧化碳与铅了。硫、氮和其他物质的氧化物,不论是直接产生,或是经过太阳紫外线的氧化,都会腐蚀金属及橡胶,损害建筑物,残害农作物,导致人的呼吸道疾病加重,甚至引起肺癌。

若是城市上空的大气,停滞一段时间不流动,那么污染物的聚集将会严重地污染空气,助长**烟雾**的形成。这种烟雾首先在洛杉

矶,然后继续在许多城市都有报道。烟雾所造成的最大伤害,是数以百计居住在烟雾中的老人或病人,因无法忍受烟雾对他们肺部所造成的压力而丧生。这种悲剧于 1948 年曾在多诺拉和宾夕法尼亚州发生,1952 年又在伦敦出现过。

地球上的淡水被许多种化学废物所污染,而其中的任何一种都将可能造成极大的悲剧。1970 年,含水银的化合物被轻率地倒入海中,再辗转进入到海洋生物体内,而造成许多危害。以目前这种污染速度,不要说我们想从海洋中寻找到更多的食物来源,而实际上我们可能已经开始毒害海洋的资源了。

毫无选择性地使用长时效的杀虫剂,将会使这些杀虫剂残留于植物中,并紧接着从植物进入到动物体内。由于这样得来的毒害,有些鸟类已经不能再产下卵壳正常的鸟蛋,从而不能抵御昆虫的攻击。我们现在正面临着类似鹰隼绝迹的同样的局面。

差不多每一项所谓新的科技进展,都是急于想超越自己的对手,增加自己的利益,但是往往没有适当的警觉性,以至于带来许多困境。自从第二次世界大战以来,人造清洁剂代替了肥皂。这些清洁剂的主要元素之一,便是各种不同种类的磷酸盐;这些磷酸盐流入水中,大大地加速了微生物的生长,因而耗尽了水中氧的供应,导致其他水中生物的死亡。北美大湖区的**富营养化**,也将因为这些有毒物质的影响而加速衰老,比较浅的伊利湖便是一个明显的例子,这些湖泊的寿命因而缩短了约 100 万年。伊利湖将会变成伊利沼泽,而美国佛罗里达州南部大沼泽地,也将完全枯竭。

任何生物彼此之间都是相互依赖而生存的。例如植物与蜜蜂的关系,便是一个明显的例子,植物靠蜜蜂而授粉,而蜜蜂则依赖植物得到食物才能生存。此外,还可以列举出其他成千上万的例子。每当有一种特殊生物的数目急剧上升或减少,都将影响其他数十种生物的生长或生存,虽然有时这种影响的方式并不清楚。

研究生物个体之间相互关系的科学叫做**生态学**。生态学直到现在才慢慢受到重视，因为许多例子表明，由于人类只顾追求短暂的利益而改变了整个生态结构，造成长期性的困难。因此，在我们决心去做某些事时，务必三思而后行。

甚至火箭这种明显的另外一个世界的事情，也必须谨慎考虑。仅一枚巨大的火箭，就会在60公里的高空，排放出超过100吨的废气进入大气层。这些废气将明显地改变高层大气的物理性质，而造成难于预料的气候变化。本世纪70年代，超音速飞机问世，它能以超过音速的速度飞越同温层。反对这种飞机的人，其理由不只是由于音爆所带来的噪声，而且也由于它影响气候并污染环境。

另外一个因人口增加而形成的更为严重的问题是，人类在地球表面上的分布不均衡。无论任何地方，人口都有集中到大城市的趋势。在美国，尽管人口不断增加，但某些农耕地区，不仅没有分担人口膨胀的压力，事实上这些农耕地区的人口反而有减少的现象，据估计，大城市的人口并不是每35年增加1倍，而是每11年就增加1倍。到了2005年，地球上的人口总数将会加倍，而大城市的人口将增加到9倍以上。

这是一个十分严重的问题，目前我们也看到了社会结构的解体。这种现象通常都集中在都市化已经相当明显的先进国家。在这些国家中，人口通常都集中在都市，特别是都市中最拥挤的地方。毫无疑问，当生物拥挤到超过某个极限，许多病态的行为将会出现。这由许多用大鼠来做的实验所证实，而且，以我们本身的经验与种种新闻事件来看，这种结果也将适用于人类。

显而易见，**如果现在这种趋势仍无改变**，在下半个世纪，整个科技以及社会结构将会完全瓦解，而且会有无法估量的可怕后果。人类在疯狂的情况下，可能会全面诉诸于核战争。

但是，目前的这种趋势会继续下去吗？

很明显，想改变目前的这种趋势，需要极大的努力和传统价值观念的改变。对于大部分的人类历史来说，人类曾经有过一段寿命十分短暂的时期，许多婴儿在襁褓中就已夭折。因而，在那时一个种族若不想灭亡的话，女人就必须尽可能的怀孕生育子女。基于这个原因，母性被奉为神明，而且每一种可能降低出生率的趋势都被阻止。女人的地位在当时被贬为只是生小孩和养育小孩的机器而已。在对性行为的控制上，除了可以导致怀孕的行为之外，其他的行为被视为罪过与邪恶。

但是现在我们居住在一个拥挤的世界里。如要想避免人口危机，母性必须成为一项不可滥用的特权。对于性以及性和生育儿女之间的关系的认识，必须有所转变。

从本质上看这个问题是全球性的。由于人口膨胀、过度污染、自然资源消失以及核战争的威胁所造成的危机，影响到每一个国家，所以除非所有的国家通力合作，否则无法解决这个危机。这就意味着，所有的国家都不能忽视其他国家，而自己一意孤行。任何国家都不应该以国家安全为理由，让其他的国家发生灾难，而本身获取好处。总而言之，一个有效率的世界性政府组织是必须的，这个联邦性的世界组织，能容许各种不同的文化差异自由发挥，而且能够保障人权（希望如此）。

但是，这种组织能产生吗？

或许可能。

在前面的章节里，曾提到世界人口以及 1970 年时人口增加的速率，目前有许多国家的政府已逐渐了解人口过度膨胀会带来无数危机，以至于世界人口增加的现象开始慢慢有些缓和。许多国家的政府都深切体会到，除非真正解决人口问题，否则其他问题也就无法解决。开始鼓励实施人口计划的国家不断增加，在中国（拥有 10 亿人口，几乎占全世界人口的 1/4），目前正在极力推行一对

夫妻只生育一个孩子的计划。

实施计划生育的结果，世界人口的增长率已从1970年的2%下降到1980年的1.6%。具体来说，也就是如果目前全世界的人口为50亿，那么以1.6%的增长率来计算，每年全世界就增加8 000万的新人口，仍稍多于1970年的年度人口增加量。虽然计划生育目前还没有在全世界广泛推广，但至少我们正在朝正确的方向前进。

此外，人们也已看到了逐渐高涨的女权运动。女性们逐渐了解，在生活的每一个方面，她们也扮演着同样重要的角色。女权运动的重要性(姑且不谈它的合理性)在于女性能在世界的各个工作岗位上得到自我满足，而不再只是一个生育和管家的机器，因此，出生率可能会保持减缓的势头。

诚然，尽管每个人似乎都明了控制人口的运动是必要的，但控制人口仍遭到反对的声浪。在美国有一个活跃的组织，他们不仅反对堕胎，而且反对在学校里讲授性教育课程，同时也反对任何可能造成无谓流产的避孕装置。在他们看来，惟一合法的方式就是性节制。但是，没有人相信人类能够自我节制。这个团体自称为“生命的权利”，对不了解人口膨胀危机的人来说，“致命愚蠢的权利”这个名称，倒是一个更好的名称。

1973年，世界上拥有石油资源最主要的阿拉伯国家，因为反对西方国家对以色列的支援，而开展短时的石油禁运，这项禁运和以后的石油价格的稳定上涨，使我们认识到工业国家的确需要妥善保存资源。如果这项禁运继续下去，我们势必将采用太阳能、核能和其他可重复使用的资源，来替代原先的石油资源，这样我们就会朝着生存的目标迈出一大步。

人们对于环境条件的要求也日渐加强。在美国，1981年上任的里根总统曾推行许多以人道主义思想为基础的经济政策；这些

政策从半个世纪以前 F.D. 罗斯福的“新经济政策”时期就开始实施了。里根政府以为推行这种经济政策会得到美国大多数人民的支持。然而当某些人为了少数人的利益不惜毒害大多数人时，美国环境保护局便开始插手管这件事，于是引起强烈的抗议，被迫改组了机构并承认他们“误解”了里根的命令。

人们不该低估科学技术突飞猛进所产生的作用，例如通信技术的重大革命。在不久的未来，通信卫星的大量增加，将可以使每一个人都能和其他任何地方的人联络。不发达国家也可以跳过需要大量资金来建设的早期通讯网络，而直接进入可以直接收发信息的阶段，比方说，每个人都拥有个人电视站。

世界将因而缩小到如同阡陌相连的小乡村。实际上，**全球村**正是形容这种情况的好名字。使用特殊的电视教学，能使全球村的每一个角落都受到教育。现在较落后的国家中的新生的一代，将可通过这种途径，学习到最新的农耕技术，正确地使用肥料和杀虫剂以及人口节制的方法。

这甚至可能是人类有史以来第一次有人口分散的可能性。借助全球的通信电视网，世界上任何一个地方都能获得最新的商业信息、丰富的图书资料以及新的农耕计划，而不需要把这一切再聚集在一起，既庞大又易于腐烂。

电子计算机和机器人也将产生有益的影响(在后面的章节里将会谈到)。

但是，谁知道呢？危机似乎迫在眉睫，然而亡羊补牢也许为时未晚。

海底移民

假如人类危机可以得到解决，人口开始趋于稳定，人口增长率渐渐以人道的方式减缓；贤明而有效率的世界性机构创设，允许地

区性的分歧意见而不加以抹煞;生态结构受到重视,地球资源被有系统地保存——然后呢?

人类仍然将积极去开拓新的领域。原始人类发迹于东非,刚开始时也许没有现代大猩猩分布广或更成功,然而原始人类向外开拓,直到 15 000 年前,**智人**便已分布到整个世界岛(非洲、亚洲和欧洲)。以后,人类又开始将脚步扩展到美洲、大洋洲,甚至于穿越到太平洋群岛。20 世纪以前,不适于人类居住的地方,例如撒哈拉沙漠、阿拉伯沙漠和格陵兰,人口仍然十分稀少,但是除了南极大陆以外,没有任何地区是没有人类居住的。至少,现在的科学站已经永久地建立在最不适合人类居住的地方。

到所有陆地都已被人类开发居住以后,接下来,要开发移居到什么地方去呢?

海洋是一个可能的回答。海洋是生命的发源地,并且单以数量而言,海洋拥有最丰富的资源。除了昆虫以外,陆地上任何种类的生物都试图回到海洋去生活,因为那里食物供应比较充足,居住环境也比较安定。在哺乳动物中,水獭、海豹和鲸鱼重新适应水中的生活,便是很好的例子。

人类能否在现在科学技术的高度发展和进步的条件下,不经过十分缓慢的进化过程,就改变人体结构,以便重新回到海洋适应水中生活呢?现在人类已可以置身于潜水艇和探海艇的厚金属壳内,潜入海洋,到达最深的底层。

然而潜水艇是不能满足人类的需求的。1943 年,一位法国海洋学家库斯托发明了**水肺**,也就是装有压缩空气的氧气筒,背在背上,人类便能亲自体验在水中停留一段时间的感觉,而不再只局限在船舱或潜水艇里了。

库斯托同时也是第一个建造海底生活居所的先驱,在这样的住所里面,人们甚至可以停留更长的时间。1964 年,有两个人(其

中一个是林德伯格，一位飞行师的儿子)在海平面下 130 米深处生活了两天，如果在较浅的地方，人们甚至可以在水中停留数周之久。

从 1961 年起出现了更加戏剧性的发展，生物学家凯尔斯特拉在莱登大学开始研究哺乳类动物在水中真正的呼吸情况。除了鳃较能适应低氧浓度外，肺与鳃的作用几乎十分相似。凯尔斯特拉把水溶液配制成与哺乳类动物的血液相似，并在其中灌满氧，以免伤害肺部组织。他发现，无论是小鼠或狗，都能在这种溶液下生活一段时间，而无明显的病症。

田鼠能在一张薄的硅胶膜包围之下，在普通的水中生存一段时间。水中的氧可以通过薄胶膜传给田鼠，而田鼠呼出的二氧化碳也可以通过薄胶膜扩散到水中。这种薄胶膜实际上就是一个人造鱼鳃。从目前和未来的发展来看，人类以后必将能够在水中无限期的居留，而且把地球的表面——陆地和海洋——都当成自己的家园。

空间移民

外层空间又怎么样呢？人们是否一定要居住在地球上？或者能否到外层空间去旅游或探险呢？

当 1958 年第一枚人造地球卫星进入外层空间的轨道时，自然引起了人们对空间旅游的想象。自那时候起，科学幻想小说所描写的某些现象，便渐渐地变为事实。**卫星 1 号**的发射是人类空间计划的第一步，其筹备时间只花了三年半。然而只经过了 8 年，人类便能踏上月球了。

空间计划需要耗费大量的钱财，而且还遭受到不少科学家的反对。这些科学家中，有的认为空间计划是广大群众关心有余而科学证据不足的天真想法；另有些科学家认为，空间计划阻碍了更

伟大的科学发明。还有一部分阻力来自社会大众,他们认为地球上有许多社会问题亟待解决,而发展空间计划要花费很多的钱,却又不可能得到立竿见影的效果。

然而,空间计划仍在继续进行,只不过是速度放慢了一些。如果人类能在愚蠢的战争上,尽可能减少资源消耗,那么,空间计划就可以更快速地推进。空间计划中也有建立空间站的设想——实际上,大型空间站有可能永久停留在地球的轨道上,而且可能供一些人在上面停留一段时间——这在研究和实验上都被认为是具有相当价值的。航天飞机可以重复使用,而且运转良好,是开拓空间计划十分重要的前提条件。

人们希望将来能在月球上建立永久居民区,而且更希望能够在月球上开采资源,而不再只是永久地依赖地球来生存了。

1974年,美国物理学家奥尼尔提出,人类不一定要在月球上居住,而仅将月球作为一座开采站。虽然人类起源于一个行星的表面,但人类没有必要限制自己只在地球表面上生活。奥尼尔指出,在地球轨道上放置一个圆柱体、球体或面包圈形的物体,使它快速旋转到足以产生离心力,就能使人类在这些物体内部表面上,感觉到有一种重力,而这种重力是人为的伪重力。

这种空间居留所可以用金属或玻璃来作建筑材料,其内部要填满采自月球的土壤,并将它建筑成类似地球的环境,而且依其大小,可容纳一万人或更多。这个居留所的轨道,可定在使月球、地球和居留所分别处在一个等边三角形的三个顶点上。

当然,也可以使空间居留所拥有两个轨道的位置,或将几十个居留所相互聚集在一起。到目前为止,美国和苏联似乎都还没有这种计划,但是奥尼尔却乐观地认为,如果人类全心投入这个计划,那么居住在空间的人数多于地球上人数的时日,并不会太远。

奥尼尔最初所提出的居留所,是针对月球的轨道而设计的。

但是，人类能不能越过月球再往前推进到别的星球上去呢？

从理论上来说，没有任何理由可以解释，为什么人类不可能越过月球而到达下一个最近而可以登陆的星球——火星（虽然金星离地球更近，但那里太热而不适合人类停留）。要到火星那里去，需要好几个月的时间，而不像到月球那里只要几天的时间。正因为需要几个月的时间，所以人们必须携带足够的生活必需品才行。

利用潜水艇或探海艇深入到海洋的深处的方法和装备，人类都已有了一定的经验。人们现在也可以像在深海中航行一样，携带适当足够的食物和一大袋封闭好的空气，到空间去旅行。但是，当要离开地球进入空间时，克服重力的问题是非常复杂的。因为在宇宙飞船内，原先被装备、人员、燃料和机械等所占的空间比较小，携带的重量也比较轻；如果飞行时间延长就必须占据更大的空间和携带更大的重量。

空间食物必须极为紧密，食物中绝对不可有多余的空隙容纳不能消化的成分。这些浓缩的人工食物，必须具备足以维持人类生命的果糖、无刺激性的植物油、适当的氨基酸混合物、维生素、矿物质和不同的香料，所有这些东西都被压缩在一个由可食用的碳氢化合物所制成的盒子中。一个盒子可供应一餐所需的 180 克固态食物及 1 000 卡的热量。另外，每卡必须添加 1 克的水（一个人一天需要 2.5～3 升的水）；某些水与食物混合，做成小粒丸状，以增加盒子的容积。此外，宇宙飞船还必须携带每人每天所需的大约 1 升的液态氧（约 1 150 克）。

这样，每人每天所需物品的总重量是：干的食物 540 克，水 2 700克和氧 1 150 克，合计 4 390 克。那么，要完成去一趟月球的旅行，来回旅途的飞行时间各需要 7 天，加上停留在月球表面探测两天的时间，每个人就必须携带 68 公斤的食物、水和氧。可以相信，以现在的科学技术水平来说，处理这样的事情，应该是不成问

题的。

如果估计要去一次火星探险，那么来回的飞行时间和必须携带的东西就非常多了。来回一趟火星的行程约需花费两年半的时间，还要在火星上等待到有合适的行星轨道的位相角才能起程回来。依照上面所述的要求，若去火星探险旅行，则每人需要约5吨重的食物、水和氧。以现在的科学技术水平来看，要在宇宙飞船上运送这样多的东西，是非常困难或是不可能的。

要解决远距离空间探险的问题，惟一可能的办法就是宇宙飞船必须能自给自足。以同样的观点来看，地球也是一个围绕着空间而自给自足的庞大的"宇宙飞船"。所有用于启程的水、食物和空气，必须无限制地由废物中循环使用。

从理论上讲，这种**闭合系统**是可以建造出来的。重复使用废物，听起来难于令人接受，但是这种做法毕竟是维持地球上所有的生命使之能生息不止的一种过程。化学滤纸可以收集宇航员呼出的二氧化碳和水蒸气；而尿素、盐分和水，可以经由尿液或排泄物的蒸馏而取得。干燥排泄物，在使用紫外线消毒杀菌之后，配合二氧化碳和水，能够饲养水槽中培养的藻类。借助藻类所进行的光合作用，又可以把二氧化碳和排泄物中含氮化合物，转变成有机物和氧，以供宇航员使用。惟一需要由系统以外提供的，是各种不同过程中所需的能量，包括藻类光合作用所需的阳光。

据估计，只要有110公斤的藻类，就可以供应一位宇航员在一段时间内所需的食物和氧。加上所必须加工处理的设备，供应一个人日常所需的总重量约为160公斤，最多也不会超过450公斤。另外还有一些科学研究者寄希望于嗜氢细菌系统，这些细菌并不需要阳光，而只是利用水解而来的氢便可生存。据报道，这种系统的效率比光合作用的藻类还要高。

除了食物之外，还有一个长期失重的问题。宇航员曾在连续

失重的状态下生活半年之久，而无任何永久性的伤害；尽管如此，长时期的失重状态，仍或多或少是影响宇航员的因素。幸好，目前已有办法克服它。例如，宇宙飞船的缓慢旋转，能够造成离心力，从而使宇航员有重力的感觉。

最严重而又不容易解决的问题是超高速和瞬间减速所引起的危险，这是宇宙飞船起飞或降落时难于避免的。

地球表面的正常重力称为 1 克。失重便是 0 克。能够使人类的体重变成 2 倍的加速度（或减速度）时的重力，便是 2 克；能增加体重 3 倍的加速度，就叫做 3 克，如此类推。

人体的姿态在加速度下，会发生重大的变化。如果先在头部位置加速（或是向脚下部减速），那么血液就会由头部快速地下流。在高加速之下（每 5 秒 6 克）会使人眩晕。相反，如果改由脚部开始加速（**负加速**），血液将迅速涌向头部，这种情况更为危险，因为在高压之下，眼睛或脑部的血管更容易破裂。只要在 10 秒钟内具有 2.5 克的加速度，就足以使某些血管受到损害。

人类比较容易忍受**横向加速度**，即如同坐的姿势一样，向身体的长轴垂直施加压力。人类在离心作用下能够抵抗高达 10 克的横向加速度，长达 2 分钟以上，而不会发生丧失意识现象。

时间愈短，人类的忍受力就愈高。斯塔普和其他志愿者，曾在美国新墨西哥州好乐门空军基地的雪橇跑道上，测试在保持高速中突然减速所产生的后果，并取得惊人的发现。1954 年 12 月 10 日斯塔普做了一项举世闻名的运动：他在大约 1 秒钟之内，承受了高达 25 克的减速度。他的雪橇由每小时 600 多公里的速度，在 1.4 秒之内完全停住。据估计，这大约相当于时速 120 公里的汽车撞上砖墙的力量。当然，斯塔普是用绳索捆绑在雪橇上，借以减少伤害。结果，他身上仅发现几处擦伤、水泡和强力冲撞下所造成的黑眼圈。

一个宇航员在发射升空时，必须在短时间内承受 6.5 克的加速度，而下降时，则必须承受高达 11 克的减速度。

许多设计，例如按人的体形设计的卧椅、铠甲，甚至于把人浸泡在一个充满水的密舱内，或是有充分安全空间的宇航服，都是用来抵抗高重力速度的。

另外还有许多类似的研究或实验，用于讨论辐射的危险，长期隔离的厌倦，以及在一个无声无息、永远黑夜的环境中生活的奇怪感觉；此外，宇航员还必须忍受许多意想不到的千奇百怪的现象。总而言之，一切为了远离地球；而在准备空间探险的整个过程中，似乎看不到有什么克服不了的困难。

事实上，只要人们不坚持认为宇航员就是地球人，长期空间旅行中的心理反常，可能并不是严重的问题。但平心而论，生活在巨大的地球上，与生活在狭隘的宇宙飞船内，是有很明显的不同的。

至于奥尼尔所想象的太空居留者，会是什么样子的呢？这些移民将能适应宇宙飞船内部的环境、饮食与循环利用的空气，而且会有许多反重力的变异。宇宙飞船将是一个新居民地的小缩影，也许，这些人能够终生习惯地生活在那里。

21 世纪或更晚以后的主要课题，将是向空间移民与开创人类探险的道路。空间移民将能够到达各个小行星，在那儿开采矿石，提供人类扩展所需的新资源，并有许多星球将会被挖空而成为自然的移居地；它们之中，有很多远比我们所能想象的地-月系统大得多。

以这些小行星为基地，人类将能够探索太阳系外围的广大领域……而太阳系之外，还有许许多多其他的星球等着我们人类去拜访！

（罗迪安 译）

第十七章　头　　脑

神经系统

与其他生物相比,我们人类的体格实在是不怎么样。在力量上我们比不上大多数个头和我们一样大的动物。我们的行走姿势,和猫比起来,显得十分笨拙;我们跑不过狗或者鹿;在听觉、视觉和嗅觉方面我们比许多其他动物要差。我们的骨骼结构不适合于我们的直立姿势:人类可能是惟一会在正常姿势下、在正常活动中产生"腰酸背痛"的动物。比起其他生物在进化中达到的尽善尽美的境界(例如鱼类和鸟类在游泳和飞翔中的超高效率,昆虫的大量繁殖能力和适应能力,病毒完美的简单性和效率),人实在像一个笨拙而设计不佳的生物。作为纯粹的生物体,我们很难与地球上占据任何特定生活环境的生物竞争。我们之所以能支配地球,是因为我们有一个相当重要的特化器官——脑子。

神经细胞

细胞对其周围环境的变化(**刺激**)很敏感,并会做出适当的**反应**。因此,原生物会游向在它附近水中滴入的糖液滴,并会游离酸液滴。这种直接的、自动的反应对于单个细胞来说挺合适。但对于多个细胞组成的结合体,这种反应会带来混乱。任何多细胞生

物必须具备一个协调各个细胞反应的系统。没有这样一个系统，生物体就会像一个由互不交流、行动相互矛盾的人所组成的城市一样。所以即使是最原始的多细胞动物——腔肠动物，也具有最原始的神经系统。我们可以在它们身上见到最早的神经细胞（**神经元**）——这是一些具有纤维的特化细胞，其纤维由主细胞体向外延伸并伸展出极其精细的分支（图 17－1）。神经细胞的功能非常微妙复杂，以至于即使在如此简单的水平上我们也不能完全解释清楚它们到底是怎样工作的。环境中的变化以至今尚不清楚的某种方式对神经细胞起作用。这些变化包括某种物质浓度的改变、温度或亮度的变化、水的流动、或是直接接触到了什么物体。无论什么刺激都会引起一个微小的**神经脉冲**，也就是一个快速传过神经纤维的电流信号。当到达纤维末端时，神经脉冲会跃过一个微小的间隔（**突触**）而传入下一个神经细胞；这样它就会一个细胞一个细胞地传下去。（在高度发达的神经系统中，一个神经细胞可以和其邻近的细胞间形成成千上万个突触。）对于一个腔肠动物（例如水母）来说，神经脉冲会传遍整个生物体。水母的反应是收缩身体的一部分或全部。如果刺激是来自与食物颗粒的接触，水母会通过收缩触足将食物卷入体内。

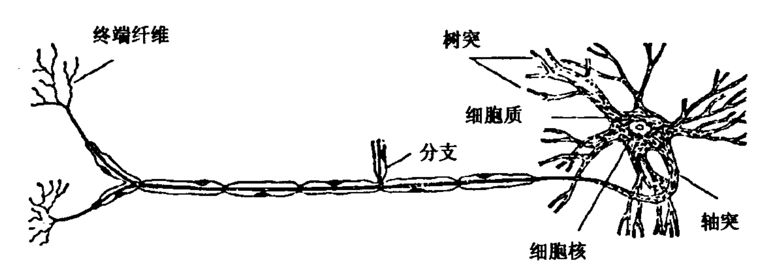


图 17－1 神经细胞

当然,所有这些完全都是自动的。但是由于它对水母有利,我们便倾向于认为水母的行为都是有目的的。确实,人类作为一种行动都是有目的、有动机的生物,自然倾向于认为连无生命的自然界也是有某种目的的。科学家们称这种态度为**目的论**,并尽量努力避免这种方式的思维和言论。但是在描述进化结果时,以一切向更高的效率发展这一点作为中心展开话题实在是太方便了,以至于除了最狂热的纯粹主义者外,连科学家们也免不了偶尔陷入目的论中。(当然,本书的读者已经注意到了,我经常犯这个毛病。)不过,让我们在考虑神经系统和脑子的进化时尽力避免目的论。脑子并不是由大自然设计的;可以说它是进化过程当中一系列偶然事件的结果,这些偶然事件产生了一些有利的性质,而具有这些性质的生物体在各个进化阶段中都能得到优势。在生存的斗争中,一个动物如果比其竞争者对环境变化更敏感并能更快地做出反应,则在自然选择中生存下来的机会就更大。例如,如果某个动物身体上碰巧有一个点对光线特别敏感,它会给动物的生活带来很大的好处,以至于随着进化的过程,眼点以及最终眼睛将会不可避免地出现。

构成最初的**感觉器官**的特化细胞群最先出现在扁形动物门或扁形虫中。另外,扁形虫已具有神经系统的雏形。该系统能避免将神经脉冲毫无选择地传向全身,相反地,它会尽快把脉冲传向反应的关键点。这一点是由于有了中枢神经索才做到的。扁形虫是第一类具有**中枢神经系统**的动物。

还有,扁形虫的感觉器官集中于其头部一端,这是它们前进时身体各部位中首先与外界接触的一端。于是,很自然地,神经索在头部区域最为发达。这一块发达的神经组织便是脑的雏形。

渐渐地更加复杂的动物门增加了新的特性。感觉器官的数目增加,敏感性提高。神经索及其分支也变得更加复杂精巧;发展出

一个分布广泛的**传入**神经细胞系统,其功能是向神经索传递信息;以及**传出**纤维,其功能是向反应器官传递信息。那块位于头部关键位置的神经结变得越来越复杂。神经纤维也向着能尽快传递脉冲的形式进化。乌贼是进化程度最高的一种无节动物,它的神经纤维变粗,以利于脉冲的快速传输。有节动物体内的神经纤维具有一层脂肪质的鞘(**髓鞘质**),其加速传导神经脉冲的能力更强。人体内某些神经纤维能以每秒 100 米的速度(相当于每小时 360 公里)传送脉冲,而某些无脊椎动物的神经纤维只能达到每小时 160 米的脉冲传输速度。

神经索的位置在脊索动物中有了根本上的变化。在脊索动物体内,这条主神经干线(一般称做**脊髓**)顺后背延伸,而不是像在所有低等动物体中那样顺腹部延伸。这看上去好像是倒退了一步——神经索移到了更易暴露的位置。但是脊椎动物的神经索实际上在骨质的脊柱内得到很好的保护。虽然脊骨的首要功能是保护神经索,但它也带来了惊人的额外好处,也就是给脊索动物提供了一个用以支撑更多体重的梁架结构。从脊骨延伸出的肋骨包住了胸腔,延伸出的颚骨带动牙齿完成咀嚼工作,延伸出的长骨形成了四肢。

脑的发展

脊索动物的脑源自三个基本结构,这些结构的雏形在最原始的脊椎动物中已经出现了。这些结构在开始时不过是膨大的神经组织,它们是**前脑**、**中脑**和**后脑**。这种划分方法是希腊解剖学家克奥斯的埃拉西斯特拉图斯在公元前 280 年左右首先提出的。在脊髓头部一端,脊髓平滑变粗,形成后脑的一部分,称为**延髓**。延髓前方,除了最原始的脊索动物外,一般都有一个隆起的部分,称做**小脑**。再向前便是中脑。低等脊椎动物的中脑主要负责视觉并具

有一对视叶，而它们的前脑则负责嗅觉和味觉并含有**嗅球**。前脑从前到后分成嗅球区、**大脑**以及**丘脑**，丘脑的下半部分称做**下丘脑**。通过将动物大脑切除并观察结果，法国解剖学家弗卢朗在1824年已能证明，大脑的确是负责思维和意愿行为的。（见图17－2，人脑的结构。）

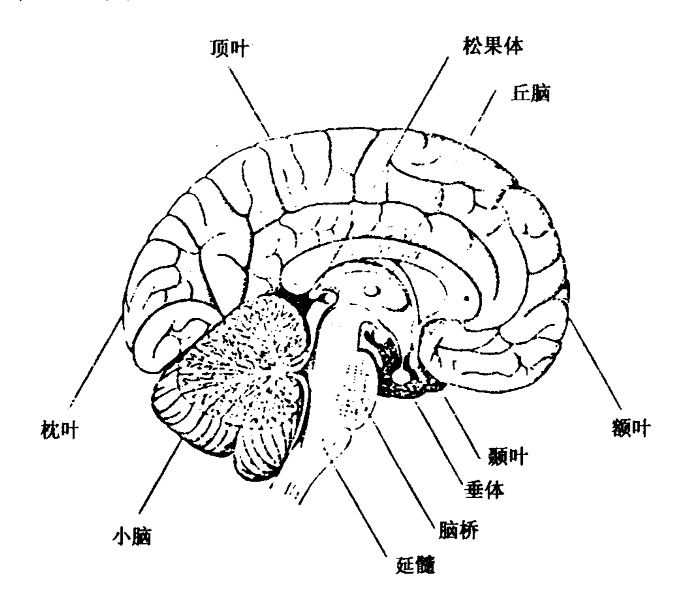


图17－2 人脑的结构

大脑的顶部——也就是称做**大脑皮质**的那层外套——才是这出戏里的大明星。在鱼类和两栖类动物中，它不过是一层平滑的套子（称做**大脑皮层**）。在爬行类动物中，一块新的神经组织出现了，称做**新皮质**。这才是将要出现的新事物的前身。它将逐步取得视觉和其他感觉的管辖权。在爬行动物中，视觉信息交换中心已部分地从中脑移向前脑，而在鸟类中它已完全移到前脑。在最初的哺乳动物中，新皮质开始起主要作用。它几乎覆盖了大脑的

整个表面。一开始它还是一层平滑的外套,但是在高等哺乳动物中它继续增长,其面积大大超过大脑的整个表面,以至于折叠成皱褶或**脑回**。这些皱褶使高等哺乳动物(尤其是**智人**)的脑有高度的复杂性和巨大的容量。

随着物种沿着这个方向不断发展,大脑逐渐支配了整个脑部,中脑则几乎消失了。灵长目动物的视觉发达,嗅觉减退。它们前脑中的嗅叶已缩成了小团。进化到这一步时,大脑扩展增大,已从上面盖住了丘脑和小脑。

即使是早期类人动物的化石,其脑腔容量也比最发达的猿类大得多。黑猩猩和猩猩的脑重量不超过 400 克,比人个头大得多的大猩猩的平均脑重量也只有 540 克。相比之下,猿人属的成员的脑重量据推测约在 850 到1 000克之间。而这个属在人科动物中是**脑量较小**的。罗得西亚猿人的脑重量在1 300克左右,而尼安德特人和现代**智人**的脑子大约重达 1 500 克。现代人的智力高于尼安德特人,这是因为现代人脑有一大部分集中在前区,而这一区域似乎负责控制高级智力功能。尼安德特人额头较低,他们的脑子后部膨大;而现代人相对来说则额头较高,脑子的前部膨大发达。

人科动物的脑子在过去 300 万年中大约增大了 2 倍——从进化的角度来说这是一个很快的变化。但是这个变化为什么会发生呢? 为什么单单发生在人科动物中呢?

现在我们已经知道,即使在很早以前,小脑量的人科动物就已经开始直立行走了,同现代人完全一样。这一点很可能是人科动物脑量迅速增加的原因之一。直立姿势的出现大大早于脑量的增加。直立姿势带来了两个重大结果:首先是眼睛被高高地提离地面,从而可以向脑子提供更多的信息;其次是前肢获得了**永久性的**解放,这就可以用于感觉和操纵环境。这些大量增加的知觉信息,

包括远距离的视觉和近距离的触觉，使得一个增大的、能处理新事物的脑子有了用武之地。这样，任何一个个体，如果它的脑子碰巧工作效率比较高(可能是由于脑量较大，也可能是由于结构较佳)，则必然会在生活中强于其他个体。进化的过程必然会产生大脑量的人科动物。(至少我们从现在看来似乎是这样。)

人脑

现代人的脑重占全身总重量的 1/50。这样我们可以说，大概每 1 克脑子平均控制着 50 克身体。相比之下，黑猩猩的脑子占它体重的1/150，而大猩猩的脑重量只是体重的1/500。固然，某些小型灵长目动物的脑重占体重比比人类还要高。(蜂鸟的脑重占体重比也超过了人类。)有的狨猴脑重达到体重的1/18。但是，这些小动物的脑子太小，绝对不可能包含人类级别的智慧所需的复杂结构。简言之，不论从绝对的角度还是相对全身大小而言，智力发展所需要的是一个较大的脑子，而这正是人类所具有的。

通过研究下面的例子，我们能够更清楚地体会这一点。有两种哺乳动物的脑子明显大于人脑，但这样大的脑子并未给它们带来超高的智慧。最大的象脑可重达 6 000 克，而最大的鲸脑则可重达 9 000 克。但是这些脑子所管理的身体也是极其庞大的。尽管象脑很大，它也只占象全身重量的1/1 000，而一条大鲸的脑重可能只是体重的1/10 000。

在这方面有可能与人类匹敌的只有一种动物。海豚是鲸目中体形较小的成员，具有这种可能性。某些海豚和鼠海豚体重不比人大但脑却比人的大(有的能达到 1 700 克)且脑回更加发达。

不过仅仅根据这一点就下结论说海豚的智力超过我们是不妥当的。智力高低还和脑内部的组织结构有关。海豚的脑(以及尼安德特人的脑)可能更偏重于一些我们认为是低等的功能。

惟一可靠的办法是通过实验来测定海豚的智力。某些研究人员如利利似乎确信海豚的智力的确与我们自己相当，海豚和鼠海豚拥有和我们一样复杂的语言模式，还有，将来也许可以建立某种形式的人与海豚不同物种间的对话。

即使这些想法都是正确的，下面的结论还是毫无疑问的：即海豚无论有多高的智力，在它们重新适应海中生活时，就失去了机会，从此再不能把这种智力转化为对环境的控制。在水下不可能利用火，而正是发现火的用处最先将人科动物同其他一切生物区别开来。更根本的是，在水这样一种摩擦力很强的介质中高速游动需要有完全流线型的体形，这就使海豚不可能发展出任何类似人类的臂和手的器官。而要想巧妙地探索和操纵周围的环境，必须得有这样的器官。

另外有趣的是，人类是从后面赶上并超过这些鲸目动物的。在人科动物的脑子还很小时，海豚的脑子已经是比较大的了，然而海豚并没有能阻止人科动物继续发展。今天看来不能想象我们会允许进化出一些脑量大的鼠甚至是狗来威胁我们在地球上的地位。但是，困在海中的海豚却对人科动物的进化无能为力，以至于我们今天已经发展到如果愿意的话，毫不费力就能消灭鲸目动物的地步。（我们当中的许多人不希望这样做，并在努力防止这样的事情发生，这的确是人类的可贵之处。）

海豚有可能以某种我们尚不理解的哲学方式，在某些智力形式上比我们强。但是说到对环境的有效控制和技术开发，就我们所知从古到今从未有什么生物能超过智人。（不用说，人类行使他们的智力和技术能力的活动并没有总是给他们所在的星球——以及他们自己——带来好处。）

智力测验

企图确定某一物种如海豚的精确智力水平是很困难的。应当指出,至今尚未出现一种令人完全满意的测量方法来确定任何人类成员的精确智力水平。

1904年,法国心理学家比奈和西蒙设计了一种通过分析被测试者对一些精心选择的问题所做的答案来测定智力的方法。这类**智力测验**引出了所谓**智商**的说法,智商代表测验得出的智力年龄与实际年龄的比值——这个比值最后再乘以100以去掉小数点。主要是通过美国心理学家特曼在这方面的工作,公众逐渐了解了智商的意义。

问题是所有的测验都是以某种文化背景为中心设计的。有关犁的简单问题能难倒一个聪明的城里孩子,而关于电动扶梯的一般问题也能让一个同样聪明的乡下孩子瞠目结舌。这两种问题都能使一个同样聪明的澳大利亚土著人孩子困惑不解,而让我们摸不着头脑的关于飞镖[①]的问题对这个孩子来说却很可能不成问题。

而且,人们很难没有关于哪些人聪明,哪些人不聪明的偏见。一位研究人员必然会“发现”那些和他本人文化背景相同的人的智力比较高。古尔德在他于1981年出版的**《对人的错误量度》**一书中详细描述了从第一次世界大战以来,智商测验是怎样一直被用来不知不觉地或想当然地为种族主义思想服务的。

最近的也是最引人注目的一个例子是英国心理学家伯特,他是在牛津大学受的教育并曾在牛津、剑桥两所大学任教。他专门研究了许多儿童的智商,并将这些智商数字与孩子们父母的职业地位联系起来做分析。他将父母的职业地位划分为:高等专业人

---

① 澳大利亚土著的一种武器,通常用坚木制成,投出后可飞回原处。
——译注

员、低等专业人员、办事员、技术工人、半技术工人、非技术工人。

他发现孩子的智商与父母的职业完全吻合。父母的社会地位越低，孩子的智商也越低。换句话说，人的社会地位是生来注定的，境况好的人本来就该过好日子。

而且，伯特发现男人的智商高于女人、英格兰人智商高于爱尔兰人、非犹太人高于犹太人，等等。他测试了生下后不久就被分开的同卵双胞胎，发现虽然成长环境不同，他们的智商却还是非常相近，再次指出遗传比环境更加重要。

伯特获得了很高的荣誉，并在1971年去世前被封为骑士。但是，在他死后，人们发现，他的实验数据毫无疑问是由他自己一手捏造的。

用不着去追究他这样做的心理原因。(对我来说)知道这一点就足够了：人们渴望别人认为自己聪明，以至于几乎不可能找到任何能得出相反结果的数字。整个智力测验的领域都充满了感情和自爱，所以人们对任何这方面的结果都应该谨慎对待。

另一种广为人知的测验是试图测定人头脑中比智力更微妙、更难以捉摸的一个方面。这种测验由一些墨水渍所组成。一位瑞士医生名叫罗尔沙赫，在1911～1921年间首先采用了这种墨水渍图案。测试者要求测试对象将墨水渍图案想象成具体图像；从测试对象在这样的**罗尔沙赫氏测验**中所得到的具体图像的种类，测试者推测出他或她的人格。但是，即使是在最好的情况下，这种推测也不大可能得到任何实质性的结论。

功能的特化

很奇怪，许多古代哲学家几乎完全没有注意到人类头盖骨下那个器官的重要性。亚里士多德认为脑子不过是一个空气调节装置，是用来冷却过热的血液的。比亚里士多德晚一代人的希罗菲

卢斯在亚历山大工作时,正确地认识到脑是智慧的中心。但是,像在其他问题上一样,人们宁愿相信亚里士多德的错误观点,而不愿听取别人的正确看法。

于是,上古和中古时期的思想家们倾向于认为心脏、肝脏或脾脏是感情或个性的所在(请看下面这些说法:“心碎了”、“胆小的”、“发脾气”)。

近代第一个探讨脑子的科学家是17世纪英国内科医生和解剖学家威利斯:他顺着神经追踪,发现它们通向脑子。后来,一位名叫维克达居尔的法国解剖学家还有其他一些人粗略描绘了脑的解剖结构。但是直到18世纪才由瑞士生理学家哈勒做出了有关神经系统运行机制的首次重大发现。

哈勒发现,刺激神经比直接刺激肌肉更容易使肌肉收缩。而且,这种收缩是不随意的;他甚至能在生物体死后,通过刺激神经的办法引发这种收缩。哈勒接着又证明感觉是由神经传递的。当他把通向某些特定组织的神经切断后,这些组织就不再有反应了。这位生理学家由此断定,脑通过神经收到感觉,再通过神经将信息送出去,引起肌肉收缩之类的反应。他认为全部神经最终都集中到脑的中心。

1811年,奥地利的内科医生加尔专心研究了大脑表面的**灰质**(灰质和**白质**不同,白质仅由神经细胞体延伸出的纤维组成,纤维由于其脂肪质的鞘而呈白色)。加尔提出神经并不是像哈勒所认为的那样汇集到脑的中心,而是每一条都通向灰质的某一特定部位。他认为灰质是脑中负责协调的区域。加尔推论说,大脑皮质的不同部分分别负责从身体各不同部位收集感觉,并负责向身体的特定部位发送引起反应的信息。

如果皮质的某一部分确实负责脑的某一特定功能,那么,自然人们会设想,脑中某一部分的发达程度能反映一个人的性格或智

力。通过触摸一个人的头颅,我们能感觉出他头上有没有突出的部分,这样也许可以发现脑子的这一部分或那一部分比较膨大并能由此确定一个人是否特别慷慨或特别堕落或有什么其他特别的地方。根据这一推论,一些加尔的追随者们杜撰了一门叫做**颅相学**的伪科学。这东西在19世纪相当流行,即使在今天也还没有销声匿迹。(奇怪的是,虽然加尔和他的追随者们强调高前额和圆头顶意味着智慧——这种观点至今还在许多人中颇有影响——加尔本人的脑子却非常小,大约比平常人的脑子小15%。)

由骗子们编造的颅相学纯粹是胡说八道,但这并不是说加尔最初对大脑皮质特定部位专门功能的想法是不正确的。即使在人们还未开始对脑进行具体研究之前,就有人注意到,对脑子特定部位的损伤会导致人体丧失特定的功能。1861年,法国外科医生白洛嘉通过对尸体脑部的刻苦钻研,发现**失语症**(不能说话,或不能听懂语言)患者往往是左大脑某一特定部位受到过损伤,这一区域因此被称做**白洛嘉氏脑回**。

接着,在1870年,两位德国科学家弗里茨和希齐格开始详细分析脑子各部位的管理功能,他们采取的办法是刺激脑子的各个部位并观察这些刺激会引起哪些肌肉的反应。半个世纪以后,瑞士生理学家W.R.赫斯大大改进了这种研究技术,使之更加精巧,他因此获得了1949年的诺贝尔医学与生理学奖。

通过这种方法,人们发现大脑皮质中某一特定的带状区域集中负责向全身各随意肌发出运动的信号。于是这一带状区域便被称为**运动区**。这个区域似乎与身体各部位间有着一种大致反向的联系。运动区最上面的部位靠近大脑顶部,并负责控制腿最下部的动作。如果从上到下逐渐刺激运动区,则腿上部、接着是躯干部、臂、手,最后是颈部和头部的肌肉会逐渐有所反应。

运动区后面的一块脑皮质区负责接收多种感觉信号,并被称

为**感觉区**。和运动区的情况一样，大脑皮质中的感觉区似乎也能分成与身体各部位有反向关系的许多区段。脚部的感觉由感觉区的顶部接收，从感觉区顶部向下的各个部位依次负责腿部、臀部、躯干、颈部、臂、手以及手指的感觉，直到感觉区的最下部负责舌的感觉。感觉区负责唇、舌和手的部位在感觉区所占的比例比起这些器官在人体中所占的比例要大，这一点也是人们早就意料到的。

除去运动区、感觉区以及主要负责接收从主要感觉器官如眼、耳等传来的印象的大脑皮质区域，还有一大部分大脑皮质没有任何确定的和明显的功能。

正是由于大部分大脑皮质没有明显的任务，才出现了有关一个人"只用了他1/5的脑子"的说法。这种说法当然是不正确的，我们充其量只能说人脑只有1/5的部分具有明显的功能。如果一家建筑公司在建造一座摩天大楼时只派出1/5的雇员去竖起钢梁、埋设电缆、运送设备等等，我们很可能会以为该公司仅有1/5的人在工作。这种假定忽略了经理、秘书、档案员、监督员等等。同样地，脑子的主要部分也是从事一些我们可以称为白领工作的活动，包括汇集并分析感觉数据，决定对哪些可以不予理会，对哪些需要有所反应以及具体该做什么反应等等。大脑皮质里有一些不同的**联合区**——有的用来处理听觉，有的用来处理视觉，还有的用来做其他事情。

在考虑过所有这些联合区以后，大脑中还剩下一个区域。这个区域没有特定的或容易解释的功能，叫做**额前叶**。由于没有明显的功能，所以有时也被称为**哑区**。为治疗脑瘤而进行的大面积切除额前叶的手术一般不会给患者带来任何特别重大的影响；然而额前叶肯定不会仅仅是一团无用的神经组织。

人们甚至可以设想额前叶是脑中最重要的部分，因为在人类神经系统的发展过程中，各种复杂结构一直是在脑的前端不断积

累着。这样额前叶很可能是脑中最新进化出来的区域，也就是脑中最具人类特点的区域。

到了20世纪30年代，葡萄牙的外科医生莫尼兹想到，当一个精神病患者已是山穷水尽的时候，采取切断其额前叶与脑子其他部位联系的办法可能会对他有所帮助。这样做了以后，患者可能会失去他以前积累的一部分心理联系（看起来这些心理联系是他患病的因素），并利用他剩下的那部分脑子重新开始更好的生活。这项手术称做**额前叶切断术**，首次临床实践是在1935年；在一些应用实例中，它似乎确实对患者有所帮助。莫尼兹因在这方面的工作与W.R.赫斯分享了1949年的诺贝尔医学与生理学奖。但是，这项手术从未得到广泛的应用，而且现在更是很少有人愿意做。在很多情况下，用这个办法治疗还不如不治。

大脑实际上分成两个**大脑半球**。两个半球间由一段坚韧的白质桥梁联结起来，这段白质叫做**胼胝体**。在功效上，两个半球是两个单独的器官，它们通过胼胝体中的神经纤维达到步调一致。这些神经纤维穿过胼胝体并负责协调两个半球。但是，两个半球本身依然具备独立行动的能力。

这情况有些像我们的眼睛。在正常情况下，我们的双眼协调一致地工作。但如果失去了一只眼睛，剩下的一只依然能满足我们的需要。同样地，切除实验动物的一个大脑半球并不会使它陷入无脑状态，它的另一个大脑半球会学会独自继续工作下去。

一般来说，每一个大脑半球大体上负责控制身体的一侧：左大脑半球负责右半边身体，右大脑半球负责左半边身体。如果不损坏两个大脑半球而切断胼胝体，协调会受到破坏。这时身体两半边受到两个半球大体上相互独立的控制。可以说这样就会出现所谓双脑的情况。

有人用猴子做这种实验，并进而对其视神经进行手术以确保

每只眼睛仅与一侧的大脑半球相连。做过这种处理以后，人们可以分别训练每只眼睛做特定的事情。比方说，人们可以通过训练让猴子记住圆圈上加个十字是有食物的记号。如果在训练期间蒙上猴子的右眼，那么只有左眼能用来通过这种记号寻找食物。如果此时遮上左眼，放开右眼，猴子会完全不记得训练的过程而只能用试探摸索的办法寻找食物。如果分别对两眼做相互矛盾的训练，然后将它们打开，猴子会交替做两种事情，这时它的两个大脑半球彬彬有礼地轮流值班。

当然，在任何这类“一国两君”的情况下都会有出现矛盾和混乱的危险。为避免这种危险，在两侧大脑半球正常地联接在一起时，往往有一侧的大脑半球（对人类成员来说几乎总是左侧半球）占支配地位。例如，控制语言的白洛嘉氏脑回就在左半球内。**知识区**是一个全面的联合区，它在脑中起一种类似最高上诉法院之类的作用；它也在左半球内。由于大脑左半球负责控制身体右侧的运动功能，所以大多数人自然惯用右手，这一点毫不奇怪（即使是惯用左手的人也大都是左侧大脑半球占支配地位）。如果左右两侧大脑半球谁也不占有明确的支配地位，则会出现两手均运用自如的情况，而不是明确的惯用左手或惯用右手。这种情况往往伴有语言障碍，或者还可能有双手动作笨拙不灵的毛病。

近年来流行这样的假设，即脑部两个半球有不同的思考方式。显然是控制语言的左半球在思考时具有逻辑性、数学性，一步一步地推导。而右半球则善于直觉、艺术构思和整体思维。

大脑并不是脑的全部。在大脑皮层的下面还埋藏着其他一些灰质区。这些区域称做**基底神经节**，其中包括一块称做**丘脑**的区域。丘脑（见图 17－2）是各种感觉的接收中心，比较剧烈的感觉——如疼痛、极热或极冷、或是猛烈的接触——会被过滤掉。而来自肌肉的比较柔和的感觉——如轻柔的接触和适度的温度——

则会通过丘脑传到大脑皮质的感觉区去。就好像可以把柔和的感觉信号托付给皮质，在那里它们能够得到审慎的考虑。经过一段或长或短的考虑时间后，皮质会发出反应的信号。但是，对剧烈的感觉必须迅速做出反应，没有时间考虑。这类感觉大体上是由丘脑自动处理的。

丘脑下面是**下丘脑**，它是控制身体用的各种设施的中心。身体的食欲中枢就在下丘脑内，在本书第十五章里提到过食欲中枢是控制食欲的；身体的温度控制机构也在下丘脑内。另外，脑对脑下垂体的工作至少能施加一些影响，而这也是通过下丘脑进行的(见第十五章)；这正好表明，通过这种方式身体的神经控制机构和化学控制机构(激素)可以联合起来形成一个总的监控势力。

1954 年，生理学家 J. 奥尔兹发现了下丘脑的另一个相当惊人的功能。当下丘脑中的某一区域受到刺激时，似乎能引起一种强烈的快感。如果在一只大白鼠的**快感中枢**里植入一只电极并使大白鼠自己能够激发这只电极，大白鼠将会以每小时 8 000 次的频率连续激发电极，每次持续许多小时甚至许多天，不进食、不交配、不睡觉。显然，生活中一切美好的事情之所以合心合意都是因为它们能对快感中枢引起刺激。如果能对快感中枢直接进行刺激则一切其他事情都变得没有意思了。

下丘脑内还有一个区域与清醒-睡眠周期有关，因为如果动物的这个区域部分受损会引起类似睡眠的状态。目前尚未弄清下丘脑是通过什么机制完成它这项功能的。有一种理论认为，它向大脑皮质发出信号，而皮质接到信号后再发回来，如此两者互相刺激。经过一段持续的清醒以后，两者间会变得不协调，信号的振荡变得不均匀，这时产生睡意。一个剧烈的刺激(强烈的噪声，持续摇动睡觉人的肩膀，或是一个连续的噪声突然中断等)会使人醒来。如果没有这类刺激，下丘脑和皮质间的协调最终会逐渐恢复，

而睡眠会自动停止。也可能睡眠会变得很浅，以至于周围环境中无处不在的很普通的刺激也足以使人醒来。

睡眠过程中，人会做梦。梦是由一些大体上与现实脱离的感觉材料组成的。做梦似乎是一种普遍的现象。那些自称睡觉时没有做梦的人只不过是没能记住他们所做的梦罢了。美国生理学家德门特在 1952 年研究人的睡眠期间，注意到了在睡眠中有眼球快速移动的阶段。这种眼球快速移动有时会持续许多分钟(**快速眼动睡眠**)。在快速眼动睡眠期间，人的呼吸、心跳和血压都上升到清醒时的水平。这种睡眠状态大约占总睡眠时间的1/4。如果在快速眼动睡眠期间将睡眠者叫醒，他一般都会说刚才他正在做梦。另外，如果一个人总是在快速眼动睡眠期间被吵醒，他就会逐渐开始出现心理紊乱的症状。如果睡眠连续多夜受到干扰，则他心理紊乱的时间会成倍增加，就像是要补回失去的做梦时间一样。

这样看来，做梦对于脑的工作有重要功能。有人认为，脑在做梦时一一整理白天发生的事情，将不重要的和重复性的东西除去，以免这些东西把脑子搞乱并降低脑子的工作效率。睡眠时间最适于完成这种工作，因为这时脑子不用去执行清醒时所承担的许多任务。如果由于中途被打断而没能完成这项工作，则有可能阻塞脑子的正常运转，以至于脑子在不睡眠时也要试图进行清理工作，结果产生幻觉(也可以说就是醒着做梦)和其他不适的症状。自然，人们很可能会想到也许这正是睡眠的主要原因，因为从睡眠中得到的肉体上的休息几乎都可以通过在清醒状态下安静地歇着的方法来获得。甚至婴儿也有快速眼动睡眠。虽然婴儿想来不会有什么梦可做，他们还是有一半的睡眠时间是花在快速眼动睡眠上。快速眼动睡眠可能对神经系统的发育有所帮助。(除人类以外，在其他的哺乳动物中也曾观察到快速眼动睡眠的现象。)

脊髓

大脑下面是尺寸较小的小脑(也分成两个**小脑半球**)和**脑干**,脑干向下逐渐变细并平滑过渡到脊髓。脊髓在脊柱的空心中向下延伸,共长约460毫米。

脊髓是由中间的灰质和它周围的白质所组成的;它上面连结着一系列的神经。这些神经大都与内脏有关——如心脏、肺、消化系统等等,这类内脏器官大体上都不受随意控制。

通常,如果由于疾病或创伤脊髓被切断,则处在截断的那一段脊髓以下的身体部分可以说就失去联络了。这部分身体不再有知觉,而且还会瘫痪。如果脊髓在颈部断开,则会引起死亡。因为此时胸部瘫痪,肺部停止活动。正是由于这个原因,脖子断了人就会死;也是由于这个原因,绞刑成了一种快速致死的刑法。致死的原因是脊髓断了,而不是骨折。

中枢神经系统由大脑、小脑、脑干和脊髓组成,它的整个结构严密协调。脊髓的白质由成束的神经纤维组成,这些神经纤维束从上到下贯穿整个脊髓,将全部脊髓联成一个整体。从脑子向下传导神经脉冲的纤维束称做**下行纤维束**,而负责将神经脉冲向上传到脑子的纤维束则称做**上行纤维束**。

1964年,克利夫兰都市综合医院的研究专家们报告说,他们将恒河猴的脑与身体其他部分分离开,然后设法使分离下来的猴脑独立存活最长达18个小时之久。这样,通过比较进入分离下来的脑血管的营养液体和从脑血管中流出的液体,就有可能详细而具体地研究脑的新陈代谢。

1965年,研究专家们将狗头移植到其他狗的脖子上,接上血管,使移植来的狗头能接受寄主的血液供应。这样移植的狗头中的脑子,最长的存活并持续工作了两天。到了1966年,专家们又将狗脑冷冻使其温度降到接近冰点,然后再使它们恢复到明确显

示正常的化学活性和电活性的地步。显然,脑子不像一般人所想象的那么脆弱。

神经活动

由神经连结在一起的不仅仅是中枢神经系统的各个部分,整个身体都通过这种方式受该系统的控制。神经在肌肉、腺体和皮肤中纵横交错;甚至连齿髓里面也有神经(每次牙痛都提醒我们这一点)。古时候人们就已经观察到神经了,但是它们的结构和功能却一直为人们所误解。人们一直以为它们是中空的,功能是作为一种微妙的流体的通道,这种看法一直持续到近代。加伦所创立的相当复杂的理论认为,人体中共有三种各不相同的流体,分别在静脉、动脉和神经中流动。神经中的流体一般称做**元气**(或**血气**),它是三种流体中最纯净的一种。伽伐尼发现可以用放电的方法刺激神经和肌肉,这一发现为以后的一系列研究奠定了基础。这些研究最终证明了神经活动与电有关——电可真是一种微妙的流体,比加伦所想象的还要微妙得多。

在19世纪初,德国生理学家J.P.弥勒第一个进行了有关神经作用的具体研究。他的诸多贡献包括证明不论刺激的性质如何,感觉神经总是制造出它们自己专管的感觉信号。这样,不论刺激是来自实际光源还是来自对眼睛的一记机械击打,视神经都会记录下一道闪光。(眼睛被击打后,人会感到"眼冒金星"。)这就是说我们和外界之间的联系根本不是与现实的直接接触,而是通过一些特化的刺激完成的。我们的脑子在一般情况下对这些刺激会做出有用的解释,但也有可能对它们做出无用的解释。

对神经的研究在1873年有了重大的进展。当时意大利生理学家戈尔吉发明了一种含有银盐的细胞染色剂。这种染色剂很适合与神经细胞反应,因而能清晰展示神经细胞的细微结构。通过这种方式,他观察到神经是由单独的、分立的细胞所组成的。一个细胞的突起可能会非常接近另一个细胞的突起,但是它们并不完全融合在一起。在它们之间还有突触的微小间隔。这样,戈尔吉的观察证实了德国解剖学家瓦尔德尔有关整个神经系统都是由诸多单独的神经细胞或神经元所组成的主张(这一主张称做**神经元学说**)。

但是,戈尔吉本人并不赞成神经元学说。进一步证实这个学说的工作是由西班牙神经病学家拉蒙-卡哈尔完成的。1889年,拉蒙-卡哈尔采用一种改进的戈尔吉染色剂搞清了脑和脊髓中灰质细胞之间的联系,并完全建立了神经元学说,虽然戈尔吉和拉蒙-卡哈尔对于各人发现中的一些细节问题互有争论,他们还是因各自的贡献分享了1906年的诺贝尔医学与生理学奖。

这些神经组成了两个系统,即**交感神经系统**和**副交感神经系统**。(这些名词来源于很早以前加伦半神话的模糊概念)。这两个系统几乎对所有内脏器官都有影响,并对这些器官起着截然相反的作用。例如,交感神经的作用使心跳加快,而副交感神经则使之变缓;交感神经使消化液分泌减慢,而副交感神经则刺激消化液的分泌,等等。这样,脊髓和脑部大脑以下的部分一道自动地调节各器官的工作。英国生理学家J.N.兰利在19世纪90年代详细研究了这一套不随意的调节系统,并将其命名为**自主神经系统**。

反射作用

19世纪30年代,英国生理学家M.霍尔对另外一种行为进行了研究。这种行为表面上看来有随意的方面,但最终证明实际上

是相当不随意的。当你的手不慎碰到一个烫的东西时，会马上缩回来，如果这种灼热的感觉必须送到脑部，在那里经过思考和解释，然后才能向手发出适当的命令，那么当手收到这个命令时恐怕已被烧得很惨了。不会思考的脊髓能完全自动地处理这个问题，这就快得多了。霍尔第一个将这种过程称做**反射**。

反射是由两个或更多的神经协调完成的，这些神经形成了一个**反射弧**(图 17－3)。最简单的反射弧由两个神经元组成：一个是感觉神经元(它将感觉信号传到神经中枢里某个**反射中枢**那里，一般来说反射中枢大都分布在脊髓中)；另一个是运动神经元(其作用是从中枢神经系统向外传递运动的指令)。这两个神经元有可能是通过一个或多个**中间神经元**连接起来的。英国神经病学家谢灵顿对这类反射弧及其在身体中的作用进行了细致的研究，并因此与别人分享了 1932 年的诺贝尔医学与生理学奖。正是谢灵顿在 1897 年创造了**突触**一词。

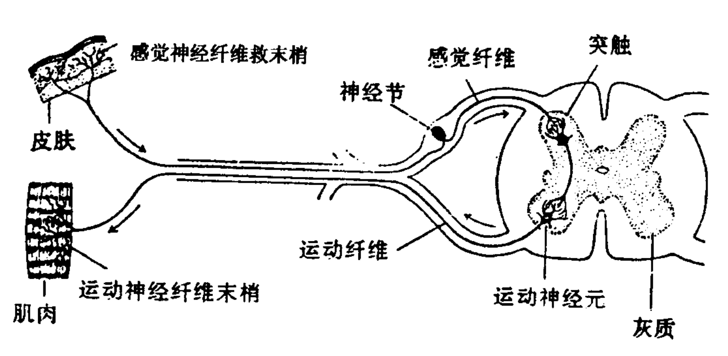


图 17－3 反射弧

反射的存在使身体对某一特定的刺激有迅速而肯定的反应。根据这一特点，人们可以采用一些简单的方法检查神经系统总体上是否完善。一个比较熟悉的例子就是**膝反射**。当一个人膝盖弯

曲、两腿交叉地坐着时，突然叩击放在上面的那条腿的膝盖下面会使这条腿迅速向前踢出。德国神经病学家韦斯特法尔于 1875 年首次使医学界注意到了这个现象。膝反射本身并不重要，但如果一个人没有膝反射则意味着他体内包含膝反射弧的那部分神经组织严重失调。

有时中枢神经系统的一部分受损以后，会产生某种不正常的反射现象。对搔挠脚底的正常反射是脚趾并拢并向下弯曲。如果中枢神经系统受到了某些类型的损坏，则会使对这种刺激的反应变为大脚趾向上弯曲，而其他四趾在向下弯曲的同时分散叉开。这就是**巴彬斯基反射**，法国神经病学家巴彬斯基于 1896 年首次描述了这种反射。

人类的反射作用有时绝对服从于人的意志。这样，在正常反射会使呼吸频率下降的情况下，一个人只要愿意就可以人为地提高呼吸频率，等等。属于较低级的门的动物比起人类来要受到反射作用更严格的控制，它们的反射也比人类的发达得多。

最好的例证之一就是蜘蛛织网。这里反射作用产生出如此复杂的行为模式，以至于很难想象这只是反射作用，故人们一般把这种行为叫做**本能**行为。（由于**本能**这个词常被误用，生物学家们更喜欢采用**天生**行为这个术语。）可以说蜘蛛生来就有一套神经线路系统，其中的所有开关位置可以说是事先定好了的。某个特定的刺激促使它开始织网，而织网过程中的每一步动作都作为刺激引起下一步动作。

看着构造复杂的蛛网，并考虑到蜘蛛织网时显示的绝妙的精确性以及蛛网完成其特定功能的效力，我们几乎不可能相信蜘蛛丝毫不具备任何智力，然而，蜘蛛如此完美地完成这项复杂任务并且每次的做法都完全相同，这一点本身就证明了智力与这件事毫无关系。审慎的思考必然包括迟疑和对各种方案的权衡，因此有

意识的智力活动必然会给各次建造带来缺陷和差异。

随着智力的增加，动物越来越倾向于失去本能和天生技巧。毫无疑问，这使它们失去了一些有价值的东西。一只蜘蛛第一次实践就能完美地织出它那惊人复杂的网，虽然它以前从未见过网是怎么织的，甚至从未见过网。另一方面，人生下来时几乎无任何技艺和能力。一个新生婴儿会自动吸吮乳头，饿了会哭叫，还能在即将跌落时抓紧周围的物体以保护自己的性命，但基本上不会做任何别的事。每一位父母都知道孩子学会哪怕是最简单的适当行为要经历多少磨难。然而，一只蜘蛛或昆虫虽然生下来就是完美的，却终生不能偏离这种完美。蜘蛛会编织美妙的网，但是如果由于某种环境原因，使它所注定会编的那种网无用武之地，它也没有能力学会编织另一种网。另一方面，一个孩子却由于不会受到与生俱来的完美的束缚而获得巨大的好处。一个人可能会学得很慢，并且在最佳情况下也达不到完美的境界，但是他可以在他自己的选择中达到多种不完美的境界。人类丢失的是便利和安全，得到的是几乎无限的灵活性。

但是，近年来的研究结果表明，在天生的和后天学会的行为之间并不是总有一条清晰的分界线。人类的情况是这样，比人低等的动物也是这样。例如，通过粗略观察，似乎能得出这样的结论，即刚出壳的小鸡或小鸭会出自本能地跟随它们的母亲。但通过更仔细的观察人们会发现并非如此。

它们的本能并不是跟随它们的母亲，而只不过是跟随某种具有特定的形状和颜色或能够运动的东西。不论什么物体，只要在这些小动物生命早期的某一特定的阶段提供了这种感觉，就会在那以后被它们当作母亲来对待。这物体可能真的就是它们的母亲，事实上几乎总是这样，但并不是说必然会如此。换句话说，跟随是本能的，但所跟随的“母亲”则是通过学习才认识到的。(这一

点的发现主要应归功于奥地利博物学家 K.Z.洛伦茨。大约 30 年前,这位了不起的科学家在进行这方面的研究时,有一个时期不论走到哪里,身后总是跟着一群小鹅。)

对在生活的某一特定时期遇到的某一特定刺激的反应所确立的某种固定的行为方式叫做**印记**。印记发生的特定时期叫做**关键期**。对于小鸡来说,**母亲印记**的关键期是在孵化后 13 至 16 小时之间。对于小狗来说,则是在出生后 3 至 7 周之间有一个关键期。这一期间一只小狗遇到的各种刺激,会形成我们所认为的正常狗类行为的印记。

印记是最原始的后天学会的行为。这种行为是在一个非常有限的时期内,在一整套非常一般性的条件下,以极为自动的方式发生的,因此它很容易被误认为是本能。

印记的一个符合逻辑的原因是它提供了一定的合乎需要的灵活性。如果一只小鸡生来就有辨别它真正母亲的某种本能以便只去跟随它的母亲,而它的母亲又刚好由于某种原因在小鸡出壳后的第一天便不在它身边,那么小鸡就会无依无靠了。事实上,有关母亲的问题在最初几个小时之内没有固定的答案,小鸡可以使自己接受附近任何母鸡的印记,从而为自己找到一个养母。

电脉冲

如前所述,伽伐尼在 18 世纪末所做的实验第一次表明了肌肉和神经的活动与电之间有着某种联系。

由于荷兰生理学家埃因托芬的工作,肌肉的电特性引出了一项惊人的实用医疗方法。1903 年,他制作了一个极其灵敏的电流计。这个电流计灵敏得足以随着心脏跳动所产生的细微电位变化而波动。到了 1906 年,埃因托芬已经在记录这个电位的波峰和波谷(这种记录就是**心电图**)并研究它们同各种心脏疾病之间的关系

了。

神经脉冲的电特性比肌肉的电特性更微妙。以前人们认为这种电特性是通过神经内部的化学变化产生与传播的。19世纪德国生理学家杜布瓦-雷蒙通过实验观察证实了这种猜想。他使用灵敏的电流计观测到了受刺激的神经中的微小电流。

借助现代电子仪器,对神经电特性的研究已达到了不可思议的精密程度。通过在神经纤维的不同位置上安放微小电极并使用示波器观察放电现象,可以测出一个神经脉冲的强度、持续时间、传播速度等等。美国生理学家厄兰格和加塞由于在这方面有所贡献而获得了1944年的诺贝尔医学与生理学奖。

如果向一个单一的神经细胞施加一连串微小的电脉冲并逐渐加大脉冲强度,则在脉冲强度达到某一特定水平之前神经细胞会毫无反应。然后神经细胞会突然击发:一个脉冲突然出现并沿着神经纤维传导下去。神经细胞有一个阈值:如果刺激低于阈值,神经细胞不会有所反应;而对于任何高于阈值的刺激,它的反应都是一个具有某一固定强度的脉冲。换句话说,这是一种"要么全部,要么没有"的反应。而且在所有的神经中由刺激引起的脉冲好像都具有相同的性质。

这样一个到处都一样的、简单的"是或非"的结构怎么可能产生出复杂的视觉或拉小提琴的动作中所含的复杂的手指反应呢?事情可能是这样的:一个神经,例如视神经,含有许多条纤维。这些纤维中可能有一些在**击发**而另一些却没有击发。而击发有可能是一连串地快速进行,也可能是缓慢进行。这就形成了一种图样。这种图样可能还很复杂,并随着总刺激的变化而连续变化着。(英国生理学家艾德里安由于在这个领域里的工作,与谢灵顿分享了1932年的诺贝尔医学与生理学奖。)脑可以对这个不断变化的图样进行连续**扫描**并对它做出解释。但是,没有人知道解释是如何

做出的，也没人知道一个图样是怎样变成肌肉收缩或腺体分泌之类的行动的。

神经细胞的击发似乎是由离子移动穿过细胞膜引起的。在正常情况下，细胞内部的钾离子较多而细胞外有较多的钠离子。细胞通过某种未知的方式把钾离子包围在内而将钠离子排斥在外。这就造成了细胞膜两侧这两种离子的浓度不平衡。现在一般认为细胞内有某种**钠泵**在不断地将钠离子排出，进来多少就排出去多少。无论如何，这种浓度不平衡在细胞膜两侧造成了大约 0.1 伏的电位差，细胞膜内的电位低于膜外的电位。当神经细胞受到刺激时，细胞膜两侧的电位差会崩溃，这就是细胞的击发。重新建立电位差需要一两毫秒的时间，在这段时间内，神经不会对另一个刺激做出反应。这段时间叫做**不应期**。

细胞一旦击发，神经脉冲就会通过一系列击发沿纤维传下去。每一段纤维负责激活下一段纤维。脉冲只能向前方传递，这是因为刚击发过的那一段纤维需要经过一个休息间隔以后才能再度击发。

由于参与了有关上述神经活动和离子渗透性方面的研究，两位英国生理学家 A.L.霍奇金和 A.F.赫胥黎，以及一位澳大利亚生理学家埃克尔斯分享了 1963 年的诺贝尔医学与生理学奖。

但是，当沿着纤维行进的脉冲遇到一个突触（即两个相邻的神经细胞之间的间隔）时，又会发生什么事情呢？神经脉冲似乎还包括产生一种化学物质，这种化学物质能漂过这一间隔并在下一个神经细胞里引起一个神经脉冲。这样，脉冲就能从一个细胞传到另一个细胞。

肾上腺素这种激素是已确知的对神经有影响的化学物质之一。肾上腺素能对交感神经系统起作用，交感神经系统的功能是减缓消化活动以及加快呼吸和心跳频率。愤怒或恐惧使肾上腺分

泌这种激素，这种激素对交感神经系统的刺激引起血液流动迅速加快，全身组织供氧量增加；同时，通过减缓消化活动，在紧急情况期间节省了能量。

美国心理学家、警官拉森和L.基勒在1921年利用这一发现设计了一种仪器，这种仪器能检测感情引起的血压、脉搏、呼吸频率和排汗等方面的变化。这个设备叫做**多种波动描记仪**。它能检测出说谎所包含的感情上的努力，因为任何比较正常的人在说谎时都会害怕被发现，这就会导致肾上腺素的分泌。虽然多种波动描记仪远没达到确实可靠的地步，但作为**测谎器**它还是早已闻名遐迩。

在正常情况下，交感神经系统的神经末梢本身会分泌一种叫做**去甲肾上腺素**的化合物。这种化合物很像肾上腺素，它的作用是将神经脉冲传过突触的间隔，通过刺激间隔另一侧的神经末梢把信息传递过去。

在20世纪20年代初，英国生理学家戴尔和德国生理学家勒韦（他们两人后来分享了1930年的诺贝尔医学与生理学奖）对另一种化学物质进行了研究。这种化学物质在不是交感神经系统的神经里起将神经脉冲传过突触的作用，它就是**乙酰胆碱**。现在人们相信乙酰胆碱不但在突触中起作用，而且还参与了神经脉冲在神经纤维本体上的传导工作。乙酰胆碱的作用可能与钠泵有关。无论如何，神经纤维中好像时时刻刻都有这种物质生成，然后又很快地被一种叫做**胆碱酯酶**的酶分解掉。任何抑制胆碱酯酶作用的东西都会打乱这一化学循环并终止神经脉冲的传输。现在称为神经毒气的致命物质就是一些胆碱酯酶抑制剂。通过阻止神经脉冲的传导，它们能导致心脏停跳而在数分钟内引起死亡。这类东西在战争中的用途是很明显的。它们还有一个不那么不道德的用途，就是作杀虫剂。

局部麻醉剂也有对胆碱酯酶的抑制作用，不过不像神经毒气那么激烈。麻醉剂通过抑制胆碱酯酶而达到暂时停止传递和疼痛有关的神经脉冲的目的。

由于神经脉冲传导时的电流的变化，我们可以在某种程度上“解释”脑的活动，虽然至今还没人能完全弄懂脑电波到底在说什么。1929年，德国精神病学家伯杰在一篇文章中报告了早些时候的研究工作。他曾在头部的各个部位安放了电极并检测到了有节奏的电波活动。

伯杰把最明显的节奏叫做 **α 波**。它的电位变化大约在20微伏左右，频率大约为每秒10次。当被测试者闭目休息时α波最为清晰明显。在睁眼看着没什么特色的光源时，α波依然存在。但是，如果看到了千变万化的环境景物，则α波会消失或被其他更为突出的节奏所淹没。过一段时间以后，如果视野中没出现什么新的景物，则α波又会重新出现。除去α波以外，其他类型的波还有 **β 波**、**δ 波**和 **θ 波**。

脑电图（简写作EEG）从那以后得到了广泛的研究。这些研究表明每人都有他或她自己的波型，这些波型还会随着人的兴奋和睡眠状况而变化。虽然脑电图还远不能被用来“探测思想”或跟踪智慧的机制，但它确实能帮助诊断脑功能的重大损坏，特别是癫痫病。它还能帮助寻找脑部受损的具体部位或脑肿瘤的位置。

到了20世纪60年代，人们开始在这项研究工作中使用专门设计的计算机。如果受测试者在测试中感受到周围环境中的一个很小的变化，那么不妨假设他的脑子会对这个变化有所反应，表现为在变化发生的时候，脑电图的波型会发生微小的变动。但是脑子在当时一定还在做其他的事情，因此脑电图的这一微小变化应该是很难察觉的。不过，如果一次次地重复这个实验，我们就能利用计算机求平均值的方法将干扰消掉，从而得到每次都出现的微

小变动。

到了 1964 年，美国心理学家克莱因斯报告说，他在研究中采用了非常精密的分析方法，因而能够仅通过对脑电图波型的研究就推断出测试对象当时看见的是什么颜色。英国神经生理学家沃尔特也报告了一种似乎是学习过程所特有的脑信号波型。当测试对象有理由认为他或她就要收到某种需要以思考或行动作为反应的刺激信号时，就会出现这种波型。沃尔特将这种波型称做**期待波**，并且指出 3 岁以下的婴幼儿和某些精神病患者没有这种波型。1965 年又有人报告了这些现象的逆现象，即由直接对脑部进行电刺激以引发身体上的某种特定的行动。耶鲁大学的德尔加多通过无线电信号传送电刺激，以操纵实验动物，使它们根据命令行走、攀登、打哈欠、睡眠、交配以及变换情绪等等。最惊人的是，他竟能让一头猛冲而来的公牛突然停止攻击，并安详地小跑走开。

人类的行为

与诸如行星的运动或光的性质之类的物理现象不同，生物的行为至今还不能用一套严格的自然法则来描述，而且很可能永远也找不到这样的法则。因而有很多人坚持认为，有关人类行为的研究永远也不会成为一门真正的科学，他们认为真正的科学应该能根据一些放之四海而皆准的自然法则来解释或推测在任何给定情况下的行为。然而生命还是服从自然规律的，而且也可以说，如果所有的因素都是已知的，则生命行为也能完全解释。问题就在于“所有因素都已知”这句话。有关的因素太多也太复杂，不大可能都成为已知的。但是，我们也不必绝望地以为再也不能进一步

完善对我们自己的了解了。对于我们自己智力方面的种种复杂问题,还是有很大的增进了解的余地的。而且即使我们永远也走不到路的尽头,还是应该希望向前走得越远越好。

不但有关人类行为的问题本身非常复杂,而且对这个问题的研究也起步较晚。物理学于 1600 年进入了成年期,化学也在 1775 年长大成人,而复杂得多的**实验心理学**方面的研究到了 1879 年才刚刚起步。那一年德国心理学家冯特建立了第一个人类行为问题的专业科研实验室。冯特本人的研究兴趣主要集中在感觉以及人们如何察觉周围环境的细节等方面。

几乎在同一时期,另一种对人类行为的研究也兴起了。这种研究是针对一种特定的应用而进行的,它把每个人都看作是工业上不可缺少却又完全受摆布的小零件。在 1881 年,美国工程师 F. W. 泰勒着手测量做某些工作所需的时间并考虑工作应该如何安排才能使所需的时间最短。他是第一位**效率专家**。就像所有其他的只关心时间的效率专家一样,他并没受到工人们的欢迎。

但是,当我们一步步地研究人类行为时(不论这种研究是在实验室里人为安排的条件下还是在工厂里以实地观察的方式进行的),就像是在研究一部精密机器的运行机制,而手头可利用的工具却粗劣不堪。

在简单的生物体中我们能看到一种叫做**向性**(源自希腊语,意思是"转向")的直接、自动的反应。植物有**向光性**("转向光源")、**向水性**("转向水源",这种情况出现在根系中)和**向化性**("转向某些特定的化学物质")。许多动物,从原生动物到蚂蚁,也具有向化的特性。现在已经知道某些飞蛾会飞向一个远在 3 公里以外的气味源。一只有向光性的蛾子甚至会飞到烛火中去,这说明向性是完全自动的。

本章前面提到的反射似乎不比向性进步多少。前面还提到过

印记,它体现了学习,但是这种学习实在是太机械了,很难称得上“学习”二字。但是反射和印记都不是只有低级动物才特有的性质,这两者人类都有一份。

条件反射

婴儿一生下来就会紧紧抓住碰到他手掌的手指,还会吮吸放到他嘴边的乳头。很明显,这两种本能的意义在于避免跌落和挨饿。

看来,婴儿不可避免地还会接受印记。当然,对这一点是不宜做实验研究的,但是,可以通过偶然碰到的机会进行观察而获取这方面的知识。孩子如果在牙牙学语的阶段听不到实际交谈的声音,则以后有可能学不会说话或最终说话能力低于常人。在管理人员缺乏人情味的孤儿院里长大的孩子往往会变成可悲的小东西。在那种地方他们吃得饱,生理上的要求也都能得到满足,只是没人来爱抚、拥抱和逗弄他们。他们的智力和身体发育大受阻碍,甚至会夭折,除去缺乏母亲般的照管以外,找不出别的明显原因。缺乏**母亲般的照管**是指没有能够引起必要行为模式印记的适当刺激。同样,小孩也需要和有其他孩子做伴时产生的各种刺激。如果在孩子生长的某些关键期内不适当地剥夺他们接受这类刺激的机会,则会使他们在性格上出现这样或那样的畸变。

当然,我们可以争辩说反射和印记只有对婴儿才重要。当一个人成年以后,他就会成为一个有理智的人,他的反应也将不再仅仅是机械的反应了。但是果真如此吗?换种说法:我们喜欢认为自己拥有**自由意志**,这种想法是否真的正确?还是说在某些方面我们的行为是完全受刺激控制的,就像我上面讲到的德尔加多实验里的公牛一样?

人们可以站在哲学或神学的立场上辩解说自由意志的确存

在,但是我从未听说有谁通过实验证明了这一点。想通过实验演示与自由意志截然相反的**决定论**,也不是一件容易的事情。但是,确实有人尝试过这方面的工作。最著名的莫过于俄国生理学家巴甫洛夫了。

巴甫洛夫最初是对消化机制感兴趣。在 19 世纪 80 年代,他发现只要将食物一放到狗的舌头上,胃里就会开始分泌消化液。即使食物永远也到不了胃里,还是会有胃液分泌出来。但是如果在胃的附近将迷走神经(该神经从延髓通往消化道的各个部分)切断,则这种分泌就会停止。由于他在消化生理学方面的工作,巴甫洛夫获得了 1904 年的诺贝尔医学与生理学奖。但是和其他一些诺贝尔奖获得者(著名的如 P.埃尔利希和爱因斯坦)一样,巴甫洛夫在得奖后继续深入研究工作,并取得了更加重要的成果。

他决定对分泌的自动或反射性质进行深入研究,并选择了唾液的分泌作为一个简便的、易于观察的例子。狗(人也差不多一样)嗅到或看到食物时就会流口水。巴甫洛夫在每次将食物放到狗面前时摇一下铃,最后,经过 20 到 40 次这种训练,狗在面前并无食物的情况下听到铃声就流口水。现在在狗脑中已建立起了一个心理联系,使铃声传入大脑的神经脉冲和代表食物外观和气味的神经脉冲具有同样的作用了。

1903 年,巴甫洛夫发明了**条件反射**这个术语以描述这类现象,流口水的反应就是条件反射。不管愿不愿意,狗一听见铃响就会流口水,就像看见了食物一样。当然,条件反射还能被擦掉。例如,通过多次摇铃后不给食物而给以轻微电击的方法就能破坏上述条件反射。最终,狗听到铃声时不会再流口水,而是做因疼痛而退缩的动作,即使没受到电击也是一样。

后来,巴甫洛夫又进一步迫使狗做出一些微妙的选择。他把圆形光斑和食物联系起来,又把椭圆形光斑和电击联系起来。狗

能把两者区别开来。但是当他把椭圆光斑的形状变得越来越接近圆形时，两者就越来越难于区别了。最终，狗陷入了痛苦的犹豫不决状态，并出现了**神经衰弱**的症状。

这样，条件实验成了心理学的一件有力的工具。在这种实验中，动物有时几乎能和实验者交谈。由于有了这项技术，我们今天有可能深入研究各种动物的学习能力、本能、视觉能力、辨别颜色的能力等等。奥地利博物学家K.弗里施在这方面所做的研究工作非同凡响。他训练一些蜜蜂到放在特定地方的碟子里去觅食，发现这些出来觅食的蜜蜂很快将食物的方位告知了它们窝里的其他蜜蜂。通过这些实验K.弗里施发现蜜蜂能区分某些颜色——包括紫外光区的颜色，但不包括红色；通过在蜂窝上的舞蹈，蜜蜂能互通有关这些颜色的消息；舞蹈的种类和活跃程度表明食物碟相对于蜂巢的方向和距离，甚至还能说明食物总量的多少。他还发现蜜蜂能通过天空中光的偏振性来定向。K.弗里施有关蜜蜂语言的惊人发现开创了动物行为研究的一个新领域。

理论上，任何学习都可以看作是由条件反射所组成的。例如，就学习打字来说，一个人开始时眼总不离打字机键盘，然后就逐渐地用某些自动的手指动作代替视觉去选择合适的键。于是想到字母k就会引起右手中指的某一特定的运动，而想到the这个词时左手食指、右手食指和左手中指就会按顺序击打键盘上的某些键。这些反应并不包含任何有意识的思考。最终一个熟练的打字员还得停下来想才能回忆起字母的具体位置。我本人打字很快而且打字动作是完全机械的，如果有人问我字母f在键盘上什么位置，在不看键盘的情况下我只有举手在空中做打字的动作，看看到底是哪一个指头打出了f。只有我的手指知道键盘的情况，我有意识的头脑则早已把它忘光了。

更复杂的学习，如阅读和拉小提琴，也符合同样的原理。不然

的话，为什么这页纸上的 CRAYON(英语“蜡笔”)这个印刷符号会在一个懂英语的人的脑中产生一个有色蜡笔的形象和代表某个词的声音呢？我们不必去一个个字母地拼读，也不必搜肠刮肚地回忆这个符号可能包含的信息，经过以前学认字时一遍遍的条件作用，现在会自动地由符号联想到东西本身。

在本世纪初叶，美国心理学家 J.B.沃森在条件作用的基础上建立了一整套关于人类行为的理论，叫做**行为主义**。J.B.沃森甚至提出人们不能有意识地控制自己的行为，行为完全是由条件作用所决定的。虽然他的理论有一段时间颇为流行，但却没有得到心理学界的广泛支持。首先，即使这种理论基本上是正确的，即行为确实只取决于条件作用，行为主义在令我们最感兴趣的人类行为方面还是没有启发作用。我们最感兴趣的方面包括创造力、艺术能力、是非感等等。想找出所有的条件作用的影响，并以某种可度量的方式将这些影响与思想及信仰模式联系起来是不可能的。而任何不可度量的东西都不能作为真正科学研究的对象。

其次，条件作用和直觉一类的过程有什么关系呢？头脑突然将以前毫无联系的两个想法或两件事合在一起，好像是全凭巧合，结果创造出一个全新的想法或反应。

猫和狗可以通过反复试探的过程找到解决某个问题(比如如何扳动一个把手以打开门)的方法。它们可能会毫无规律地乱闯，直到它们的某个动作碰开了把手为止。如果再让它们重复这件事，上次成功动作的模糊记忆可能会帮助它们早一点打开门；再重复的话还会更快一些，直到最后它们会直接去拨动把手。动物的智力越强，从纯粹试探进展到有目的的行动所需的尝试次数就越少。

到了人的水平，记忆力可就强多了。一枚硬币落到地板上，一个人也可能会毫无规律地向地上瞥几眼以找到它；但是根据从前

的经验他更可能会留心看一看他以前曾找到过硬币的地方，或是向声音的方向看一眼，还可能会对整个地板系统地扫视一遍。同样，如果一个人被关在一个地方，他也可能会乱踢乱打墙壁以图逃跑；但是他应该知道一扇门会是什么样子，因而更会集中精力寻找门。

总之，人可以通过利用多年的经验以简化试探过程，并迅速将其从思想转化为行动。在寻找解答时，可能不必有所动作，只要思考该做的事就可以了。这种奇妙的试探过程叫做**推理**，这种事并不是只有人类成员才会做。

猿的行为模式比起我们人类来要简单些，而且更为机械。但它们有时也会表现出某种自发的洞察力，这也可以在某种程度上称做理智。第一次世界大战爆发后，德国心理学家克勒被困在当时非洲的一个德国殖民地，在此期间他完成了一系列有关黑猩猩的著名实验，并发现了一些猿类洞察力的惊人例证。一次，一只黑猩猩在用一根不够长的棍子够香蕉而图劳无功后，突然拾起实验者有意放在附近的另一条竹棍，接到原来的棍子上，从而把香蕉拨到可以拿到的地方。还有一次，一只黑猩猩把一个箱子拎到另一个箱子上以便够到上面挂着的香蕉。这些黑猩猩以前从未有过会产生这些心理联系的训练和经历，看来这些行动都是它们灵机一动的产物。

克勒认为学习应包含一个过程的全部模式，而不是它的零散部分。他是心理学格式塔学派的创始人之一。（**格式塔**的德文原意即为“完整模式”。）

黑猩猩和其他大型猿类动物在外观和行为上都非常像人类，因而一直有人试着将幼猿和婴儿一同养大，看看幼猿到多大就会落后于孩子。开始，小猿成熟得较快因而比小孩领先。但是，从小孩开始学说话起，猿就永远落后了。它们缺乏相当于白洛嘉氏脑

回的机构。

然而在野外，黑猩猩不但能通过少数声音而且还能通过手势来互相交流。1966年，内华达大学的B.加德纳和A.加德纳夫妇开始试图教一只叫瓦肖(Washoe)的一岁半大的雌性黑猩猩练习手语。结果令他们喜出望外。瓦肖学会了几十种手势，既能正确地运用它们，又能毫不费力地理解它们的意思。

别人也开始向别的黑猩猩——还有幼大猩猩——教授手语。随之而来的是学术上的争论：这些猩猩真的是在进行有创造性的交流，还是仅以条件反射的方式做出机械的反应呢？

教猩猩手语的人讲到过许多有关他们的弟子自己创造新手势或创造性地将几个手势结合在一起的趣闻。但是持批评态度的人认为这些轶事不能令人信服或是不可靠。毫无疑问这方面的争论将继续下去。

现在发现，事实上即使对人类来说，条件作用的力量也比以前所认为的要大。有很长一段时间人们一直认为某些身体功能——如心跳、血压和肠的收缩等——基本上都处在自主神经系统的控制之下，因而不是人的意志所能操纵的。当然，这也有例外的地方。一个精通瑜珈术的人能通过对胸部肌肉的控制影响自己的心率，但是这和用拇指按住手腕动脉以止住其中的血液流动一样，不说明什么问题。再有，一个人还可以通过幻想自己处在一种焦急的状态来加快心跳，但这只不过是对自主神经系统的有意识的操纵。能不能不通过肌肉和头脑的极其费力的操纵，就使心律随意加快、血压随意升高呢？

20世纪60年代早期，美国心理学家N.E.米勒和他的同事们进行了一系列条件作用实验。在实验中，如果大白鼠不论由于什么原因碰巧血压上升，或心率加快或减慢，就会受到奖赏。最后，为了得到奖赏，它们学会了对由自主神经系统引发的变化进行有

意识的控制，就像它们在奖赏的引诱下学会按动杠杆一样。

至少有一个实验计划的结果说明，作为条件作用的反应，人也能控制自己的血压上升或下降。这套实验的对象是一些男性志愿者，在实验中他们所获的奖赏是一道闪光中看到裸体女子的照片。这些志愿者不知道他们怎样做才能使灯光闪亮——并看到裸照——但他们发现，随着时间的推移，他们越来越容易看到想看的东西。

通过更加系统化的实验，人们发现如果让一个人随时知道一些他平常所不知道的特性如血压、心率或皮肤温度，他就能通过某种有意识的努力（其方式尚未弄清）改变这些量。这个过程叫做**生物反馈**。

开始时有人希望生物反馈能够更有效、更方便地完成一些东方神秘主义者宣称可以完成的事情，如能够控制或减轻一些别无他法可治的代谢失调症等，但近10年来这种希望似乎渐渐消退了。

生物钟

自主身体控制还包含其他一些以前完全不为人知的微妙特性。因为生物体要受到一些自然节律的影响，如潮水的涨落，稍慢一点的日夜交替，还有更慢的季节变更，所以生物体本身做出节律性的反应就没有什么可奇怪的了。树木在秋天落叶，在春天发芽；人在晚上发困而到了早上就会醒来。

直到最近，人们才开始意识到这种有节律的反应的复杂性、多样性和自动性。这种自动性即使在没有环境节律的情况下依然持续存在。

这样，植物的叶子随着太阳的升落每日一度地挺起、垂落，通过定时摄影可以很清楚地观察到这一点。在黑暗中养育的幼苗没

有这种周期,但是它们身上还是有这方面的潜在可能性。只要见光一次——只要一次就行——这种潜在的可能性就会变成现实。这种有节奏的活动就此开始,即使以后再切断光线也会继续下去。不同的植物有不同的节律周期——无光情况下大约在 24 到 26 小时之间——但在太阳的调节作用下,总是离 24 小时不远。如果对它们施以 10 小时开、10 小时关的人工光源,则它们会建立一个新的 20 小时的活动周期。可是一旦光源被全部切断,大约 24 小时一周期的节律又会重新建立。

这种每日一周期的节律,这种即使在完全没有外界暗示时也照常运转的**生物钟**,存在于所有的生命中。明尼苏达大学的哈尔伯格把这种现象叫做 24 **小时节律**。

人类身上也有这种节律。有许多男性和女性志愿者曾在洞中连续生活数月之久,在那里他们没有任何计时装置也无从得知外面是白天还是黑夜。很快他们就完全丧失了时间感,进食和睡眠周期也变得混乱无常。但是,他们依然记录了自己的体温、脉搏、血压和脑电波,并随时将这些和其他一些数据送上地面。观测人员在地面上观察记录这些数据随时间的变化规律。结果证明不论洞中的人时间概念多么混乱,他们身体的节律一点也不乱。这个节律一直坚持大约一昼夜为一周期。在洞中生活的整个过程中,所有的测量数据都按这个规律起落。

这绝不仅仅是一件抽象的事情。在自然界中,地球的转动保持稳定,日夜的交替也保持恒定而且是不以人的意志为转移的——当然这要假定你停留在原来的位置上或只在南北方向上移动。但是,如果你在东西方向上做长距离快速移动,你就能改变钟点。你可能在日本人进午餐时抵达日本,而你的生物钟却告诉你该上床睡觉了。喷气机时代的旅行者经常发现自己的活动很难合上当地人的节拍。如果他强迫自己适应当地的时间,则他的内分

泌之类的节律会和他的活动规律格格不入，使他感到疲倦，一点效率也没有。这就是**喷气机疲劳**，或叫**高速时滞反应**。

还有一些不太明显的例子。比如，生物体承受X射线或各种药物的能力常常和生物钟的钟点有关。医务治疗很可能应该随着一天的时间变化而变化，或是为了尽量增加疗效并降低副作用而限定在一天某个特定的时间内进行。

是什么使生物钟的运行如此有规律？人们怀疑是松果体（见第十五章）在起作用。在某些爬行动物中，松果体非常发达，并似乎具有类似眼的构造。楔齿蜥是一种状如蜥蜴的爬行动物，是喙头目惟一的现存种，目前只生活在新西兰海岸附近的某些小岛上。它头顶的表皮下有一块**松果眼**，在楔齿蜥出生后半年时间内特别突出，而且的确能感光。

松果体并不能像眼一样能"看"什么东西，但能够产生某种化学物质并使其浓度随着光线的有无有节律地增减。这样它就能调节生物钟的运行。而且当光线的变化不再具有周期性时，它还能继续维持生物钟本来的节律（因为它已经通过以前的条件作用建立了产生化学物质的规律）。

但是，在哺乳动物中，松果体已不再位于头顶表皮下了，而是深埋在脑子中间。在这种情况下它是怎样运转的呢？有没有别的什么东西比光线更具穿透性，而又具有同样的节律呢？有人猜测这东西可能是宇宙射线。由于地球的磁场和太阳风，宇宙射线也具有24小时节奏。这种力量也许就是生物钟的外部调节器。

即使找到了外部调节器，是否就能找到体内生物钟呢？体内是否有某种化学反应以24小时节律升降，并控制所有其他节律呢？是否存在一种我们可以认作生物钟的"主反应"呢？如果是这样的话，人们至今尚未找到这种反应。

对人类行为的探索

但是，我们看来不大可能完全搞清楚生命这样一种复杂的事物。要完全确定核酸的复制这样一类事物还是比较容易的，然而，就是在这个相对简单的过程中，环境的因素还会引起差错并导致突变和进化。也不能想象我们有一天将能详细预测进化的过程。

量子力学的理论从更基本的角度上认为，物体的行为在本质上就存在不确定性，而且物体越轻、越小，不确定性就越强。在某种程度上，一个电子的行为是不可预知的。而且有人主张电子的某些性质只有通过测量才能知道。甚至有可能在某种微妙的程度上，宇宙在某一时刻的状态就是由人类的观察和测量所定义的。（这就叫**人类原理**。）

不难想到，有时候人的行为过程和人做出的某个决定（或者甚至是低等动物的行为或决定）可能是由体内什么地方的某个电子的不确定运动引起的。这一点在原则上就足以否定决定论，但是它并不能证实自由意志的观点，而是引入了一个随机因素。这种随机因素很可能比决定论和自由意志二者都更加不容易理解清楚。

但随机因素并非不容易处理。随机事件如果发生得足够多，它们的影响也就不难估算了。单个的气体分子的运动方式是随机的，但是在任何不是太小的一团气体中都有很多的分子，它们运动中的随机性互相抵消，**气体定律**能够非常精确地描述气体的温度、压力和体积等特性之间的关系。

但是，在人类行为的研究方面，我们尚未达到这种程度。到目前为止，这方面的研究人员采用的办法大都是凭直觉想出的，这些方法就像要研究的行为问题一样不容易对付。

这些方法可以追溯到近两个世纪以前的奥地利内科医生梅斯

梅尔。他发明了一种探索人的行为的强有力的方法，并因为在这方面所做的一系列实验而在欧洲轰动一时。开始时他用磁铁，后来只用手，通过一种他所谓的**动物磁性**（很快改称**梅斯梅尔氏催眠术**）得到他想得到的效果：他使患者进入昏睡状态，然后宣布患者已经痊愈。梅斯梅尔可能的确治好了一些人的病（某些失调症是可以用暗示法治疗的）并得到了许多人的热情追随，包括刚从美国凯旋归来的拉斐德。但是，一个成员包括拉瓦锡和 B. 富兰克林的委员会对梅斯梅尔这个狂热的占星术家和全能的神秘主义者进行了调查。委员会虽然对梅斯梅尔持怀疑态度但调查却十分公正。根据调查结果梅斯梅尔被斥为骗子，他名誉扫地并隐退了。

然而，他毕竟创造了一个开端。到了 19 世纪 50 年代，英国外科医生布雷德在医疗中重新启用了**催眠术**（是他第一个采用这个术语代替梅斯梅尔氏催眠术的），别的医生也逐渐开始采用这种方法。其中有一位是维也纳的医生布罗伊尔，他从 19 世纪 80 年代开始专门用催眠术治疗心理与感情的失调。

当然，催眠术自古就有，并常为神秘主义者所采用。但是此时布罗伊尔和其他人开始把催眠术的效果视为头脑中有**无意识**层的证据。一个人自己不知道的一些动机就埋藏在那里，而通过催眠可以使这些动机显现出来。有人设想这些动机之所以被从有意识的头脑中排挤了出去，是因为它们都与羞耻或负罪感有关，并且很可能是它们引发了那些无用、无理甚至邪恶的行为。这种设想确实很吸引人。

布罗伊尔开始采用催眠术探索癔病和其他行为失调症的潜在原因。他的学生弗洛伊德参加了他这方面的工作。接连许多年，他们共同为患者治疗，对患者进行低度催眠并鼓励他们说话。他们发现，患者对无意识层中埋藏的经历和冲动进行发泄，就像泄药的功能一样，在他们从催眠状态中醒来以后，症状全都有所减轻。

弗洛伊德得出结论认为，几乎所有受压抑的记忆和动机都有性方面的根源。性冲动被社会和孩子的父母视为禁忌并被迫隐蔽起来，但依然极力想得到表现，因此产生强烈的矛盾，而不认识、不承认这种矛盾则使之更具有伤害性。

由于布罗伊尔不同意弗洛伊德全力研究性因素的作法，两人最终分道扬镳。那以后，在 1894 年，弗洛伊德自己继续发展他关于精神错乱的原因和治疗的思想。他不再采用催眠术，而是让他的病人随意地唠叨，想到什么就说什么。当病人感到医生是在同情地倾听而没有任何道德上的责难时，他就会慢慢地，有时是极其缓慢地，开始卸去心上的负担，开始记起并倾诉长期压抑、忘却的东西。弗洛伊德把这种对精神的缓慢分析称做**精神分析**。

弗洛伊德认为梦具有性的象征意义，并描述了幼童希望在婚床上代替父母中与自己同性的一方的潜意识（男孩中的**奥狄浦斯情结**或**恋母情结**，女孩中的**厄勒克特拉情结**或**恋父情结**，这些都得名于希腊神话中的人物）。这些说法使一些人极度厌恶，而使另一些人颇感着迷。在 20 世纪 20 年代，第一次世界大战的动乱刚过，美国正处在禁酒时期的混乱之中，而世界上许多地方都在发生道德习俗上的变化。这种情况下弗洛伊德的观点让人感到颇有同情心，于是精神分析几乎成了一时的风尚。

但是，已有将近一个世纪历史的精神分析至今还是一门技术而不成其为科学。在物理学之类的“硬”科学中要进行严格控制的实验，这类实验在精神病学中当然极其困难。从事这方面工作的人只能大体上靠直觉或主观判断做出结论。**精神病学**（精神分析只是这门学问中所用到的一种技术）无疑帮助了许多患者，但是它并没有带来任何惊人的治疗效果，也并没有明显降低精神病的发病率。精神病学至今没有发展出一套大家都能接受的、就像传染病的微生物理论那样的全面理论。事实上，几乎是有多少精神病

学家,就有多少种精神病学的流派。

严重的心理疾病有多种形式,从长期抑郁到完全与现实脱离而退入一个至少有某些细节与我们大多数人对事物的理解不相符的世界。这一类精神病通常称做**精神分裂症**,这个名词是由瑞士精神病学家布洛伊勒首先提出的。精神病医院中 60% 的慢性病患者被诊断为精神分裂症患者。

直到不久以前,对于精神病只有几种激烈的疗法可供选择,诸如额前叶切断术以及采用电击或胰岛素的休克疗法(胰岛素休克疗法是在 1933 年由奥地利精神病学家萨克尔发明的)。精神病学和精神分析几乎没什么用武之地,只是在患病初期,医生和病人的交流还能偶尔奏效。但是,最近一些在药物和脑部的化学(神经化学)方面的发现却带来了令人振奋的消息。

古人就知道某些植物的汁液能引起幻觉(幻视或幻听),而另外一些植物的汁液则能使人感到愉快。古希腊德尔斐神殿的女祭司们在宣读她们那些充满隐意的神谕前,都要咀嚼某一种植物。美国西南部一些印第安部落把咀嚼皮约特或麦斯克尔仙人掌的纽扣状茎头作为一种宗教仪式(咀嚼这东西能导致颜色上的幻觉)。这方面最富戏剧性的例子可能要算曾经盘踞在伊朗一处山区要塞里的一个穆斯林教派了。这批人服用大麻叶中的汁液。在宗教仪式上,参加者服下这种麻醉剂以后会产生幻觉,感到好像瞥见了他们死后要去的天堂;于是,为了得到这种通向天堂的钥匙,他们会服从首领下达的一切命令。教派首领称做“山中老人”,他下达的命令就是让教徒们去刺杀敌方的统治者和敌对的穆斯林政府官员。英语中的“刺客”一词,源自阿拉伯语“大麻汁液服用者”,就是这个原因。在整个 12 世纪期间,这一教派使该地区充满恐怖气氛,直到 1226 年,蒙古入侵者蜂拥进入这片山区并杀光了所有的刺客为止。

在现代，取代从前那些诱发欣快感的草药的地位的，除去酒类以外，还有一类称做**安定剂**的药物。事实上，早在公元前1000年，印度就有人知道一种安定剂。这种安定剂是**印度萝芙木**中所含的某种物质。1952年，美国化学家从这种植物经过干制的根中提炼出了**利血平**，这就是如今流行的安定剂中最早发现的一种。从那以后，人们通过人工合成的方法又制造出了几种化学结构更为简单并具有相同效果的物质。

安定剂属于镇静剂一类。和其他镇静剂不同的是，安定剂会减轻忧虑，对其他的心理活动却没有可观测到的抑制作用。然而，它们的确倾向于使人发困，而且还可能有其他不好的副作用。安定剂一出现，人们就发现它们在减轻精神病患者（包括精神分裂症患者）的症状以及使他们安静等方面极其有效。安定剂并不能治愈任何精神病症。但它们能够抑制一些症状，而这些症状使适当的治疗无法进行。通过减轻患者的敌意和愤怒，消除他们的恐惧和忧虑，这些药减少了使用强烈肉体限制的必要性，并使精神病医生更容易和病人接触，从而增加病人好转并出院的可能性。

然而，安定剂畅销不衰，主要还是在普通公众中流行。大家似乎都把它们当作驱逐一切烦恼的万灵药而抓住不放。

麻醉药的使用

人们发现利血平与脑中的一种重要物质极其相似。利血平复杂分子的一部分很像一种叫做**血清素**的物质。血清素是1948年在血液中发现的，从那以后它一直使生理学界颇感好奇。人们发现它存在于人脑的下丘脑区，并广泛存在于其他动物（包括无脊椎动物）的脑和神经组织中。

而且，人们还发现，许多其他对中枢神经系统有影响的物质也与血清素非常相似。其中之一是在蟾蜍毒素中发现的化合物**蟾蜍**

特宁,另一种是仙人掌毒碱,即麦斯克尔掌纽扣状茎头中的有效成分。最引人注目的是一种叫**麦角酸二乙基酰胺**(通常简称 LSD)的物质。1943 年,一位叫 A.霍夫曼的瑞士化学家在实验室里偶然吸收了一些这种化合物,一时陷入了奇特的感觉之中。确实,当时他觉得通过自己的感官觉察到了一些东西,而这些东西和一般认为的环境客观现实完全不符。他陷入了我们称做**幻觉**的状态,而 LSD 就是现在所谓的**致幻剂**中的一种。

有些人喜欢他们在致幻剂影响下所经历的感觉,他们把这种幻觉状态叫做**头脑延伸**——这似乎是说他们感受到或以为自己感受到比正常情况下更多的东西。可是,酗酒者进入**震颤性谵妄**状态后也有同样的感觉。这种比较看上去好像很刻薄,其实不然。因为研究结果表明,在某些情况下,很小剂量的 LSD 就会引起类似精神分裂症的许多种症状!

这些意味着什么呢?血清素在结构上很像一种叫色氨酸的氨基酸,并能被一种叫**胺氧化酶**的酶所分解。脑细胞中含有这种酶。假设出现了一种结构上类似血清素的物质,使胺氧化酶忙于分解它(如麦角酸)而无力他顾。随着分解酶停止工作,血清素将在脑细胞中越聚越多,可能会达到过高的浓度。这就会破坏脑中血清素的平衡,并可能导致进入精神分裂的状态。

会不会精神分裂症就是由自然原因带来的这种失调而引起的呢?精神分裂症有遗传的倾向。这一点的确令人感到某种代谢失调(而且是一种受基因影响的代谢失调)和这种病有关。1962 年,人们发现通过某种处理过程,可以在许多精神分裂症患者的尿中找到一种物质,而未患此症的人的尿中不含这种物质。最终人们发现这种物质是一种叫做**二甲氧基苯乙基胺**的化学物质,它的结构介于肾上腺素和仙人掌毒碱之间。换句话说,某些精神分裂症患者似乎是由于某种代谢差错而在体内自制致幻剂,从而实际上

永远处于麻醉品所造成的麻木状态。

并不是每个人对某一给定剂量的这种或那种药品都有同样的反应。但是,拿脑的化学机制闹着玩显然是很危险的。不论为了多少“头脑延伸”的快乐,变成心理残废这样一种代价肯定是太高了。然而,社会对麻醉药的使用(特别是大麻的使用,至今未能确切证明大麻和其他致幻剂一样有害)久禁不止。许多猛烈抨击使用这种或那种麻醉品的行为的人,自己本身却有烟瘾或酒瘾。烟草和酒精由于使用者极多,对个人和社会都造成了很大损害。这种对人严对己宽的虚伪态度会损害反麻醉品运动的信誉。

记忆

神经化学还给最终弄明白称做**记忆**的那种难以捉摸的智力特征带来了希望。记忆看起来可以分成两类,即短期记忆和长期记忆。如果你查到了一个要打的电话号码,那么在拨号前把它记在脑子里是不难的。打完电话以后,你一般就会忘掉这个号码,而且很可能再也不会记起它。然而,一个你常用的电话号码会进入长期记忆的范围,即使停用数月之久,还是不难回想起来。

但是我们还是会忘掉许多我们一般认为是属于长期记忆的东西。我们忘记的很多,而且真遗憾,甚至还往往忘记不少极其重要的东西(这一点每一个参加过考试的学生都深有体会)。然而真的我们就把这些都忘光了吗?它们是真的彻底消失了,还是仅仅因为存得太牢靠一时找不出来了呢?是否可以说它们是被太多的无关的东西埋没了呢?

一记轻叩发掘出了这种隐藏的记忆。在蒙特利尔麦吉尔大学工作的美国出生的外科医生彭菲尔德,在一次做脑部手术时,偶然不小心碰到了患者脑部的某一个位置,使患者听到了音乐声。接下去再试叩这个地方,患者每次都听到音乐。通过这种叩击,患者

能完整地重温一遍过去的某个经历,同时对当前发生的事情保持相当清醒的知觉。看起来恰到好处的刺激能源源不断地引出极其准确的记忆。有关的大脑区域叫做**解释皮质**。偶然轻叩皮质的这一区域可能会引起**回忆幻想**(即感到某件事以前曾发生过)的现象以及**超感知觉**的其他各种表现。

但是,如果记忆是如此的详细,脑子怎么能装下那么多呢?据估计,一个人的脑子在一生中能装下1×10^{15}(1000 万亿)单位的信息。要存下这么多信息,每个存贮单元的尺寸只能和分子差不多大。如果它们比分子大,脑子就装不下了。

目前人们猜测是核糖核酸(RNA)分子。令人惊奇的是,神经细胞富含 RNA,其含量高于身体中几乎所有其他细胞中的 RNA 含量。这一点令人惊奇是因为 RNA 在蛋白质的合成中起作用(见第十三章),所以一般来说在大量生产蛋白质的组织中往往含量特别高。这些组织大量生产蛋白质是因为它们正在迅速生长,或者是因为它们正在大量生产富含蛋白质的分泌液。然而神经细胞却完全不属于这两种类型。

瑞典神经病学家海登发明了一整套技术,可以将单个细胞从脑上分离下来并分析其 RNA 含量。他开始强迫大白鼠学习新的技巧,比如在一根金属线上长时间保持平衡等。到了 1959 年,他发现被迫学习的大白鼠脑细胞中 RNA 的含量比其他正常生活的大白鼠高出 12%。

RNA 分子很大,结构也很复杂。如果存贮记忆的每个单元都是具有独特形式的 RNA 分子,那么我们就根本不用担心记忆容量的问题。RNA 分子可能具有的形式太多了,即使像一千万亿这样大的数字也显得微不足道。

但是我们仅仅考虑 RNA 本身是不是就够了呢? RNA 分子是根据染色体内 DNA(脱氧核糖核酸)分子的形式形成的。是不是

说我们每个人在出生时带来的DNA分子里有一大批潜在记忆——好比一个**记忆库**,而实际事件则取出和激活这些潜在记忆并对之作适当修改呢?

而且是不是追踪到RNA就到头了呢?RNA的主要功能是形成特定的蛋白质分子。会不会是造出的蛋白质,而不是RNA本身,才是真正与记忆有关的物质呢?

检验这种假说的一个方法是采用一种叫做**嘌呤霉素**的药物。这种药能对由RNA产生蛋白质的过程起干扰作用。由美国人L.B.弗莱克斯纳和J.B.弗莱克斯纳夫妇组成的研究小组利用条件作用教会大白鼠走迷宫,然后立即给它们注射嘌呤霉素,结果大白鼠忘掉了刚学会的迷宫走法。RNA分子依然存在,但是关键的蛋白质分子已无法形成了。利用嘌呤霉素,弗莱克斯纳夫妇发现可以用这种办法抹去大白鼠的短期记忆,却不能抹去它们的长期记忆。也许是因为有关长期记忆的蛋白质早已形成了。

然而,很有可能记忆的实质更加微妙,因而远不能仅仅在分子层次就完全解释清楚。有现象表明,记忆很可能还和神经活动的形式有关系。这个领域尚有许多问题需要解决。

自 动 机

但是,直到最近人们才将全部的科学资源投入到对生命组织和器官功能的分析上来,以便能用人造的机器去模仿它们的功能(这些功能是经过几十亿年进化,通过无数次试探才发展出来的)。这种研究叫做**仿生学**,美国工程师斯蒂尔1960年创造了这个词(英语仿生学一词是由生物学和电子学两词的各一部分缩合而成

的，但实际上仿生学的领域远远超出了这二者的范围）。

作为仿生学研究的一个例子，让我们来看看海豚皮的构造。如果海豚周围的涡流与和它一样大小的船只周围的涡流一样强，那么它就需要 2.6 马力的功率才能达到它平常的游速。由于某种原因，水在流过海豚周围时不起涡流，所以海豚只消耗很小的功率就能克服水的阻力。这好像是由于海豚皮的性质造成的。如果我们能使船只外壁达到这种效果，则可以提高远洋轮船的航速并同时减少其燃料消耗。

还有，美国生物物理学家莱特温将微小的铂电极插入青蛙的视神经以详细地研究其视网膜。他发现，视网膜并不是将一大堆乱七八糟的亮点和暗点直接送给脑子，让脑子承担全部的解释工作。视网膜上有五种不同的细胞，每种都有独特的功能。一种细胞专门对边缘起反应，也就是对亮度的大幅度变化比较敏感（比如一棵树的背景是天空，在它的轮廓线两侧就有很大的明暗差异）。第二种细胞对暗而弯曲的物体起反应（蛙捕食的昆虫）。第三种细胞对快速移动的物体起反应（应该迅速避开的危险动物）。第四种细胞对逐渐变暗的光线起反应，而第五种则对池塘水的蓝色起反应。换句话说，从视网膜发往脑部的信息已经经过了相当程度的分析。如果在人造的传感器中用上青蛙视网膜的窍门，那么这些传感器就会在灵敏度和用途方面超出现在的水平。

但是，如果我们真的准备建造一部能模仿某种生物机构的机器，那么最吸引人的莫过于去模仿那最令我们着迷的独特机构——人脑了。

人脑并不仅仅是一部机器，这一点是可以肯定的。另一方面，即使人脑这个肯定是我们所知的最复杂的物体或现象，也有某些方面让我们在某种程度上想到机器。而这种相似可能是很重要的。

这样,如果我们分析一下是什么使人的头脑和其他头脑有所不同(更不用说与无脑物体之间的差异了),我们可能会产生这样一个想法,即比起任何其他物体,不论是活的还是无生命的,人脑更明确地是一个自调节系统。它不但能控制自身,而且能控制它周围的环境。它并不是靠退让的方法对付环境的变化,而是根据它自己的需要和标准做出反应。让我们看看一部机器在这种能力方面能够接近人脑到什么程度。

最简单的自调节机械设备大约要算受控阀门了。早在公元50年,亚历山大的海洛就设计了几种简陋的受控阀,并在一个装置中使用了这样一个阀门来自动分送液体。在1679年,帕潘发明了一个高压锅,就是一个最基本的安全阀的例子。为了使锅盖不被蒸汽压力掀开,他在盖子上放了一个重物,但他选择的重量恰到好处,使锅里压力还没大到足以使锅爆炸时就能把盖子顶开。今天家用高压锅为达到这一目的使用了许多更复杂的装置(比如一个当温度太高时会熔化的塞子),但是基本原理还是一样的。

反馈

当然,这是一种一次性的调节。但是也不难找到连续调节的例子。一个名叫李的英国人发明了一种简单的连续调节装置,并于1745年获得专利。他的这种装置能使风车总是保持正对着风来的方向。他设计了一个带小叶片的**尾扇**;如果风向转移,就会吹动尾扇;尾扇叶片的转动会带动一系列齿轮传动装置,并使风车本身改变方向,直到风车的主叶板转到正对着新的风向。在这个位置,尾扇的叶片不会转动,只有当风车本体没有对正风向时才会转动。

但是,现代机械自调节器的原型还得数瓦特为他的蒸汽机发明的**离心调速器**(见图17-4)。

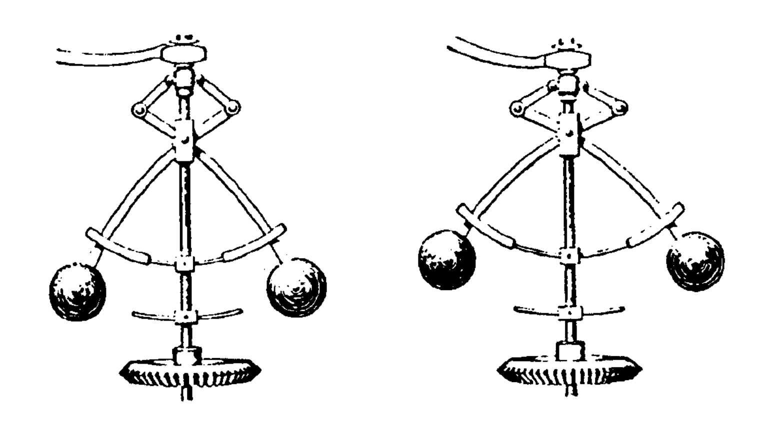


图 17－4 瓦特的调速器

为了使蒸汽发动机排出的蒸汽保持平稳，瓦特构想出了一个装置，它包括一根垂直的轴，轴上横向以铰接的方式联着两根金属棒，每根棒的端部装有一个重锤，重锤可以上下移动。蒸汽压力使垂直轴旋转，压力上升则转速提高，于是离心力使重锤上升。重锤上升使一个阀门部分关闭，使蒸汽流动变慢，随着蒸汽压力的下降，轴的转速也下降，重力使重锤向下移动，从而使阀门打开。这样，离心调速器就能使轴的转速以及输出的功率维持在一个固定的水平上。如果转速或功率偏离这一水平，就会引起一连串动作并最终导致改正这种偏离。这就叫**反馈**：误差本身不断送回信息；并且，所需的修正量的大小是由误差大小所决定的。

恒温器是我们所熟悉的一种反馈装置。荷兰发明家德雷贝尔在 17 世纪早期首先使用了原始的恒温器。1830 年，苏格兰化学家尤尔发明了一种更复杂的恒温器的原理，按这种原理制作的恒温器至今仍在使用。这种恒温器的基本部件是面对面焊在一起的两条不同的金属。由于两种金属在温度发生变化时膨胀和收缩率不同，这种金属条部件会弯曲。假定把恒温器定在 70℉，当室温

降到这个温度以下时，温差电偶会向某一方向弯曲，使电路导通并打开供暖系统；如果室温超过 70℉，温差电偶会向相反方向弯曲并使电路断开。这样，供暖设备通过反馈调节自己的工作状态。

人体的活动也以同样的方式受到反馈的控制。这方面例子很多，比如血液中葡萄糖的浓度是由分泌胰岛素的胰腺控制的，就像屋子里的温度由供暖设备控制一样。而且，正如供暖设备的运转受温度相对于标准值的偏移量的控制一样，胰岛素的分泌也是决定于血液中葡萄糖浓度偏离标准的多少。如果葡萄糖浓度过高，胰腺就会开始分泌胰岛素，就像过低的室温会打开供暖设备一样。恒温器的设定温度可以向上调，而人体内部的某种变化，如肾上腺素的分泌，同样也能将人体活动的标准值提高。

美国生理学家 W.B.坎农将生物体为维持某一不变的标准值所进行的自调节称做**内环境稳定**。在 20 世纪的最初几十年中，W.B.坎农是研究这种现象的一位先驱者。

生命系统中的反馈过程和机器中的反馈基本上是一样的，一般也没有人用另外的名词来描述这种现象。在讲到寻求有意识地控制自主神经功能时用到“生物反馈”一词，这是为了方便而人为引入的区别。

大部分系统，不论是有生命的还是无生命的，在对反馈做出反应时都会有短时间的滞后。例如，在供暖系统关上以后，还会继续辐射出一段时间的余热；在另一方面，在打开后也要过一会儿才会热起来。因而室温并不是维持在 70℉，而是在这一水平上下摆动；它总是从上到下或从下到上越过这一指标。

英国皇家天文学家爱里在 19 世纪 30 年代首先研究了这种叫做**摆动**的现象。当时他设计了一些能随着地球转动自动调整望远镜方向的装置，他对摆动的探索就是针对这些装置进行的。

从血液中葡萄糖浓度的控制到有意识的行为，大多数生命过

程都具有摆动的特点。当你伸手去拿一件东西时，手的运动并不是单一的动作，而是一连串不断调整速度和方向的动作。由眼判断是否偏离正确路线，再由肌肉做出对这种偏离的修正。由于这种修正的自动性很高，所以你感觉不到是在这样做。但是试看一个还不熟悉视觉反馈的婴儿想要拾取某物的情形：由于肌肉的修正不够准确，孩子往往不是手伸过了头就是没有伸到地方。一些由于神经受到损伤致使运用视觉反馈的能力受到干扰的患者，在试图做出协调的肌肉运动时总会陷入可怜的震颤中。

正常而熟练的手能平稳地伸向目标，并在恰到好处时停下，这是因为控制中心能够提前对情况做出估计并做出修正。当你驾车拐弯时，在还没完全转过弯道时你就会开始放开方向盘，这样，转过弯道以后车轮就会朝向正前方了。换句说，及时的修正可以防止动作过头。

有证据表明，小脑的主要功能就是管理这种通过反馈调整运动的工作。它会估计未来的情况并预测手臂在一瞬间之后的位置，进而根据这些来安排动作。在你站着的时候，小脑使你躯干的各大块肌肉的张力处在不断变化之中，以保持你身体的平衡。站着而什么也不做是一件艰苦的工作；我们都知道仅仅站着不动有多么疲劳。

这一原理也能应用在机器上。可以这样安排：当系统接近所期望的状态时，实际状态和期望状态间的差距越来越小，这种不断缩小的差距会自动在系统冲过期望状态前切断修正。在1868年，法国工程师法尔科利用这一原理发明了一种蒸汽动力船舵的自动控制装置。当船舵靠近预定位置时，这种装置会自动关小蒸汽阀，船舵达到预定位置时，蒸汽压力已经被切断了。如果船舵偏离指定位置，它的运动就会打开一个适当的阀门，这样蒸汽压力就会把舵推回去。法尔科称他的这种装置为**伺服机构**，从某种意义上说

这种装置开创了**自动化**的纪元(自动化这个术语是美国工程师迪博尔德在 1951 年首先使用的)。

早期的自动化

会模仿人类的预见力和判断力的机械装置,不论这种模仿是多么的粗糙,一旦发明出来总会引发一些人的想象力。他们会因此而考虑是否可能造出某种大体上能完全模仿人类活动的装置——一部**自动机**。神话和传说中充满了这类东西。

神话和传说中只有神仙和魔法师才会制造这种东西,而普通的人开始掌握这种技艺是和中世纪时钟表业的逐渐发展分不开的。随着钟表结构日趋复杂,**时钟机构**(指运用错综相联的齿轮使某一装置按正确顺序并在恰当的时间做出某种运动的机构)也在发展。有了时钟机构,就有可能制造出能越来越接近模仿和生命有关的行为的东西。

18 世纪开始了自动机的黄金时代。有人为法国皇太子制造了自动玩具兵;一位印度统治者还拥有一只六脚机械虎。

但是,这种皇家的玩艺儿很快就被商业冒险超过了。1738 年,法国人沃康松制作了一只铜的机械鸭子。这鸭子会嘎嘎叫、洗澡、饮水、吃谷物,还会做出消化、排泄所吃下的东西的样子。人们花钱来看这只机器鸭子。它为主人挣了几年的钱,但没有能够存留到现在。

后来出现的一部自动机被保存了下来,现存在瑞士纳沙泰尔一家博物馆里。这是一个自动抄写员,是由雅克-德罗兹在 1774 年制作的。它的外形是一个男孩,这个孩子能用笔在墨水池中蘸墨水并写下一封信。

当然,这类自动机都是一成不变的。它们**只能**做时钟机构所指定的动作。

然而，没过多久，自动性的原理就变得具有灵活性，其应用也从欣赏物转到了有用的工作方面。

第一个重要的例子是由法国织布工雅卡尔发明的。他在1801年设计出了一种叫**提花机**的织机。

在这种织机上，一般情况下针通过一块木头上的孔后将线交错织起来。但是假设在针和孔之间放上了一张打了孔的卡片，那么卡片上的孔会让针穿过去并照常进入木头。而在卡片上**没有**打孔的地方，针不能通过。这样，有些地方会有交织，有些地方则没有。

如果有不同的穿孔卡片，孔的安排有所区别，那么按某一特定顺序将这些卡片插入机器，就会由能通过和不能通过的针脚上的变化构成一种图案，通过适当地安排卡片，原则上可以相当自动地形成任何图案。用现代术语来说，安排卡片就是给织机**编程序**。其后，织机所做的事情看上去就像是出自它的本意，还像是艺术创作。

提花机最重要的一点，就是它通过一种简单的“是或非”的二分法获得了惊人的成功(到了1812年，在法国已有11 000台这种织机，并且在拿破仑战争一结束就传到了英国)。在某一特定位置或者有一个孔，或者没有孔。织机运转只需要一个片面上的“是-非-是-是-非……”之类的模式就可以了。

从那以后，专为模仿人类思想而设计的越来越复杂的装置中都采用更精妙的方法处理是-非模式。想从一种简单的是-非模式得到复杂的、类似人类的结果似乎是十分可笑的。但是事实上这样做的数学基础早在17世纪就已得到了证明。在那以前，人们已经为算术计算机械化以及为找到人脑活动的辅助装置而做了几千年的尝试。

算术计算

用于算术计算的最早的工具一定要数人的手指了。当人们使用他们自己的手指来表示数字和数的组合时,就揭开了数学的历史。英语"digit"一词,即有手指(或脚趾)的意思,也有整数的意思,这一点并非巧合。

从那以后,再进一步就出现了用其他物体(可能是卵石)代替手指做计算的情况。卵石比手指多,而且在解题的过程中,用卵石还可以保存中间结果,以便将来参考。因而,英语**计算**一词来自拉丁语的"卵石",这也不是巧合。

把卵石或珠子排在槽中或串在绳子上,就形成了**算盘**,它是第一种真正具有多种用途的数学工具(图 17-5)。有了它就可以很容易地表示个、十、百、千等等。通过移动算盘的卵石或筹码,可以迅速完成诸如 576+289 这样的加法运算。而且,任何可用来做加法的仪器也可用来做乘法,因为乘法不过是重复相加而已。另外,能做乘法也就能做乘方运算了,因为乘方就是重复相乘(例如,4^5 是 $4\times4\times4\times4\times4$ 的简化表达方式)。最后,假如能反向操作这种仪器,那么就可以做减、除和求方根的运算了。

可以把算盘看作是第二种数字计算机(第一种当然是手指了)。

算盘连续几千年一直是最进步的计算工具。在西方,罗马帝国灭亡以后算盘的使用实际上就失传了。在大约公元 1000 年,教皇西尔维斯特二世又重新引进了算盘。这次可能是从摩尔人的西班牙引进的,在那里人们一直未停止使用算盘。算盘重新出现以后,人们把它当作东方世界的新鲜玩艺,而不记得它的西方根源了。

第一种可以代替算盘的事物是一种模仿算盘工作的数字记法。这种记数法就是我们今天所说的**阿拉伯数字**,它在公元 800

年左右发源于印度，后来让阿拉伯人学会了，最后在大约公元1200年由意大利数字家、比萨的莱奥纳尔多介绍到西方。

在这种新的记数法中，算盘表示个位的那一行中的九颗不同的卵石由九个不同的符号表示，在十位行、百位行和千位行中也使用这九个符号。位置互不相同的筹码由位置互不相同的符号来代替，例，在数字222中，第一个2代表200，第二个2代表20，而第三个2则代表2本身；也就是，200+20+2=222。

这种“位置记数法”之所以能够出现，是因为有人认识到了古

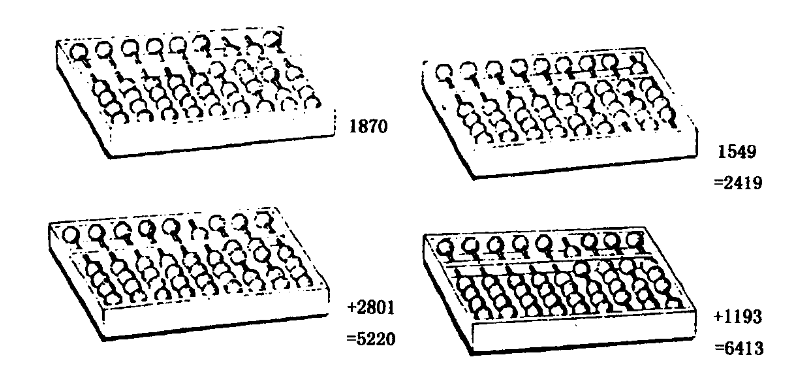


图17-5 用算盘做加法。横杠下面每个算珠表示1；横杠上面每个算珠表示5。将算珠拨向横杠表示计数。这样，左上图中，最右面一列的读数是0；从右数第二列读数是7或(5+2)；右起第三列读数是8或(5+3)；右起第四列数是1。于是，算盘上显示的数字就是1870。如果在这个数字上再加上549，最右列一列变成了9或(5+4)；右起第二列的加法是四去六进一，即向上位进1后本位余1，这样就要在右起第三列拨上一只算珠；右起第三列的加法结果为进1余4；而右起第四列的加法即为1+1或2。以上运算的答案是2419，如右上图中的算盘所示。进1的方法非常简单，不过是在左面一列中拨上一粒算珠而已，因而计算的速度可以很快。一位会熟练运用算盘的人做加法的速度能超过加法机，这一点在1946年举行的一次实际测验中得到了证实。

代算盘使用者所忽略的一个十分重要的事实。虽然在算盘的每一行中只有 9 个筹码,但却有 10 种不同的排列方法。除了将 1 到 9 的 9 个筹码排成一行以外,还可以不使用筹码——即把计数位置空出来。所有伟大的希腊数学家都没有注意到这一点;一直到了 9 世纪,才有某个不知姓名的印度教徒想到要用一个特别的符号“0”来代表这第十种排列。这个符号阿拉伯人叫做“sifr”(空的),英语中具有“零”的意思的两个词都是来源于这个字(cipher 和 zero)。现在,英语中摆弄数字有时仍叫做“ciphering”(计算),而求解难题叫做“decipher”(破解),这都说明了零的重要性。

而指数表示数的乘方提供了另一种有力的工具。将 100 表示成 10^2, 1 000 表示成 10^3, 100 000表示成 10^5 等等,从几方面来说都很方便。这样做不仅使大数的写法简单化了,而且将乘法和除法运算简化为指数的加减法运算(例如,$10^2 \times 10^3 = 10^5$),还把乘方和求方根的运算变为简单的指数乘除法运算(例如,1 000 000的立方根是 $10^{6/3} = 10^2$)。这些当然都挺不错,但是能写成简单的指数形式的数是很少的。对像 111 这样的数又该怎么办呢? 对这个问题的回答引出了对数表。

第一个研究这个问题的是 17 世纪的苏格兰数学家纳皮尔。显然,想把 111 这样一个数字表示成 10 的幂的形式,则 10 的指数不会是整数(这个指数是 2 和 3 之间的一个小数)。总的来说,如果所考虑的数本身不是底数的整数倍,那么指数就会是小数。纳皮尔找到了一种计算数字所对应的小数形式的指数的方法,并将这种指数命名为**对数**。不久以后,英国数学家 H. 布里格斯简化了这种方法并算出了以 10 为底的对数。**布里格斯对数**(即**常用对数**)在微积分中不大好使,但在普通计算中则用得较多。

所有非整数的指数都是无理数,也就是说,它们不能表示成普通分数的形式。它们只能用无限不循环小数来表示。然而,这样

一个小数可以按照需要计算到任意多的位数。

例如，让我们假定我们想要计算 111 和 254 两数的乘积。111 的常用对数，精确到小数点后五位，是 2.04532，而 254 的常用对数则为 2.40483。把这两个对数加起来，我们得到 $10^{2.04532} \times 10^{2.40483} = 10^{4.45015}$。这个数大约等于28 194，也就是 111 × 254 的积。如果我们想达到更高的精确度，我们可以使用精确到小数点后六位或更多位的对数。

对数表大大简化了计算工作。在 1622 年英国数学家奥特雷德设计了一种**计算尺**，使计算变得更加容易。他在两把尺上都标上了**对数刻度**。在这种刻度中，数字越大，数字间的距离就越短。例如，第一段包含 1 到 10 的数字，长度与第一段相同的第二段包含 10 到 100 间的数字，而同样长度的第三段则包含 100 到 1 000 间的数字，等等。通过将一把尺沿着另一把尺滑到适当的位置，就能读出乘除计算的答案。使用计算尺进行运算就像用算盘做加减法一样容易，当然，这要使用者能熟练运用这种工具才谈得上。

计算机

向真正自动的计算机迈出的第一步，是由法国数学家帕斯卡在 1642 年完成的，他发明了一种加法机，使用时不用像使用算盘那样在每一行上分别移动筹码。它由一套联在一起的齿轮组成。如果把第一个轮子——个位轮——转动 10 个格到它的 0 刻度，则第二个轮子就会向上转 1 个格到它的 1 刻度，这样两个轮子在一起就会显示 10 这个数字。如果十位轮转到了它的 0 刻度，则第三个轮子会向上转 1 个格，显示 100，等等。（这种加法机的原理和汽车里程表的原理是一样的。）据说帕斯卡制作了 50 多部这种加法机，其中至少有 5 部存留至今。

帕斯卡的装置只能做加法和减法。在 1674 年，德国数学家莱

布尼兹再进一步,他改进了轮子和齿轮,使得乘法和除法也变得像加减法一样自动和容易。1850年,美国发明家帕马利取得专利的一项重大进展使计算机使用起来更加便利。以前的计算机是用手直接拨动轮子,而他则引入了一套按键;按下标有某个数字的键,轮子就会转到相应的数字。我们所熟悉的老式现金收入记录机中,所采用的就是这样的机械装置。

但是,莱布尼兹并未就此罢手。可能是由于他在计算机械化方面的努力,他发明了二进制系统,目的是想最大限度地简化计算的机械化。

人类通常使用的是一种以10为底的记数系统(十进制),这种系统中共用到十个不同的数字(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9),并以这些数字的不同数量与组合来表示所有的数。某些文化中用到了以别的数为底的记数制(有以5为底的系统、以20为底的系统、以12为底的系统、以60为底的系统等等),但是以10为底的记数制使用得最为广泛。毫无疑问,这一点是由于我们的双手刚好有10个手指的缘故。

莱布尼兹认识到,**任何**数字都可以用做底数,而对于机械运算来说,最简单的应该是以2为底的系统(二进制)。

二进制记数法中只用到两个数字:0和1。它把所有数字都表示成2的幂。这样,1这个数就是2^0,2这个数是2^1,3是2^1+2^0,4是2^2,等等。就像在十进制系统中一样,幂是由符号所处的位置表示的。例如,4这个数表示为100,即:$(1\times2^2)+(0\times2^1)+(0\times2^0)$,用十进制数表示,就是$4+0+0=4$。

让我们以6413这个数字为例来说明一下。在十进制系统中,可以把它写成$(6\times10^3)+(4\times10^2)+(1\times10^1)+(3\times10^0)$,别忘了任何数的0次方都等于1。而在二进制系统中,是通过把2的幂加在一起(而不是把10的幂加在一起)来组成数字的。比6413小

的最高次幂是 12 次幂;2^{12}是 4096。再加上 2^{11},即 2048,我们得到 6114,这个数比 6413 小 269。下一个要加上 2^8 即 256,这样还剩下 13;再加上 2^3 即 8,剩下 5;然后是 2^2 即 4,剩下 1;最后 2^0 就是 1。这样我们就可以将 6413 写成$(1\times 2^{12})+(1\times 2^{11})+(1\times 2^8)+(1\times 2^3)+(1\times 2^2)+(1\times 2^0)$。但是,像在十进制系统中一样,一个数当中的每一位数,从左到右,必须表示比上一位数低一次方的方次。在十进制系统中写出 6413 这个数时,我们表达了 10 的三次、二次、一次和零次幂项的和,同样,在二进制系统中我们也必须表达出 2 的 12 到 0 各次幂项的和。以列表的形式表示为:

$$
\begin{aligned}
1\times 2^{12} &= 4096\\
1\times 2^{11} &= 2048\\
0\times 2^{10} &= 0\\
0\times 2^{9} &= 0\\
1\times 2^{8} &= 256\\
0\times 2^{7} &= 0\\
0\times 2^{6} &= 0\\
0\times 2^{5} &= 0\\
0\times 2^{4} &= 0\\
1\times 2^{3} &= 8\\
1\times 2^{2} &= 4\\
0\times 2^{1} &= 0\\
1\times 2^{0} &= \underline{\quad 1}\\
&\ 6413
\end{aligned}
$$

一个个地将左边一列中的乘子取出(就像我们在十进制中相继取出 6、4、1 和 3 这些乘子一样),我们在二进制中把这个数写成 1100100001101。

这看起来好像很麻烦。6413 这个数要写成 13 位长,而在十

进制中则仅需 4 位数。但是对于计算机来说，这种记数系统是最简单的了。由于只有两个不同的数字，一切运算都能以简单的“是或非”的方法来完成。

推测起来，像在提花织机上有针或无针这样一种简单的事情应该可以以某种方式模仿“是”和“非”，或 0 和 1。通过恰当而巧妙的组合，人们可以调整出如下的结果：$0+0=0$，$0+1=1$，$0\times0=0$，$0\times1=0$ 和 $1\times1=1$。如果以上组合都能做到，我们就可以想象在提花织机之类的设备上应该能进行一切算术运算。

可以以这种方式完成的不仅仅是普通的计算。这个系统还以扩展到包含一些逻辑语句，而人们在一般情况下并不认为这些逻辑语句属于算术。

在 1936 年，英国数学家图灵证明，不论什么问题，只要能分解成有限个操作步骤，而且其中每个步骤又都能用某种机器来完成，那么这个问题整体上也能通过机械方式加以解决。

1938 年，美国数学家兼工程师香农在他的硕士论文中指出，一种叫做**布尔代数**形式的推理逻辑可以用二进制的方法来处理。布尔代数是指一种**符号逻辑**系统，这种系统是英国数学家布尔于 1854 年在**《关于思维规律的研究》**一书中提出的。他注意到，推理逻辑中用到的各种命题都能用数学符号来表示。接着他又展示了如何根据一些固定的规则处理这些符号以得到恰当的结论。

举一个非常简单的例子，让我们考虑下面的命题：“A 和 B 二者均为真。”假设我们知道 A 与 B 分别是真或是假，现在的任务是通过某种严格的逻辑推理来断定上述命题的真假。让我们按照香农提出的想法，以二进制的思想方法来解决这个问题，并用 0 代表“假”、用 1 代表“真”。如果 A 与 B 二者均为假，则“A 与 B 二者均为真”这一命题为假。换一种说法，0 乘 0 得 0。如果 A 与 B 二者中一为真而另一为假，则上述命题依然为假，也就是说，1 乘 0(或

0 乘 1)得 0。如果 A 为真且 B 也为真,则“A 与 B 二者均为真”这一命题为真。用符号表示,这种情况即为 1 乘 1 得 1。

这三种情况刚好同二进制系统中的三种可能的乘积相吻合,即 $0\times0=0, 1\times0=0$,以及 $1\times1=1$。这样,由“A 与 B 二者均为真”这一命题表示的逻辑可以用乘法来处理。因此,一个经过适当编程的装置,能采用处理普通运算时采用的同样方法,同样方便地处理这个逻辑问题。

在处理“A 或 B 有一个为真”这个命题时,我们用加法而不是乘法来解决这个问题。如果 A 和 B 二者均不为真,则这个语句为假。换句话说,$0+0=0$。如果 A 与 B 二者一为真而另一为假,则这一命题为真;在这两种情况下 $1+0=1$ 或 $0+1=1$。如果 A 与 B 二者均为真,则这语句肯定为真,即 $1+1=10$。[10 中重要的一个数字是 1;它向左移动了一位,这一点并不重要。在二进制中,10 表示$(1\times2^1)+(0\times2^0)$,它和十进制中的 2 是一样的。]

布尔代数在通信工程中已变得很重要,并且构成了现在人们所说的**信息论**的一个组成部分。

人 工 智 能

第一个真正看到提花织机穿孔卡片的潜力的人是英国数学家巴贝奇。在 1823 年,他开始着手设计并建造一个他称之为差分机的装置,并在 1836 年试图建造一部更为复杂的分析机,但两者均未能完成。

理论上,他的想法是完全正确的。他设想通过使用穿孔卡片自动地完成算术运算,然后再将运算结果打印出来或采用在空白

卡片上穿孔的方式输出。他还计划使机器能够存贮卡片(这些卡片是经过适当穿孔的),并能在将来需要的时候取用这些卡片,这样机器就具有记忆功能了。

这部机器的机械运动是通过连杆、汽缸、齿条,以及按十进制系统制造的齿轮完成的。机器用铃声通知操作人员送入一些卡片,如果送错了卡片,就会有更加响亮的铃声告诉他们。

不幸的是,巴贝奇脾气暴躁,性情古怪。随着不断有新的灵感,他每过一段时间就将他的机器拆了,重新建造更加复杂的机器,结果不可避免地耗尽了资金。

更重要的是,他所依靠的机械的轮子、杠杆和齿轮根本就不能完成他所要求完成的任务。巴贝奇的机器比起帕斯卡的机器来,需要更加精巧、更加灵敏的技术,这样的技术当时还不存在。

由于这些原因,巴贝奇的工作逐渐失败了,并被遗忘了一个世纪。当人们最终成功地建造出巴贝奇式的计算机时,是由于有人又独立地重新发现了他提出的原理。

电子计算机

穿孔卡片在计算工作中的一项更为成功的应用,发源于美国人口普查的需求。美国宪法规定,每十年要进行一次人口普查。而且实践证明,对于全国的人口和经济进行的普查效益极大。事实上,每过十年,不但国家的人口和财富有所增加,而且所需的统计细节也有所增加。其结果是,完成全部统计所需的时间也越来越长。到了 19 世纪 80 年代,人们开始发现也许到 1890 年的普查快要到来时,1880 年的普查结果还不能完全出来。

就是在这个时候,美国联邦统计局的统计员霍勒里思发明了一种记录统计资料的方法。这种方法是在卡片的适当位置上用机械方法做出一些孔。卡片本身是非导体,但是电流能流过位于孔

处的接触点。通过这种方式，计数和其他的运算就能由电流来自动完成，这一点相对于巴贝奇的纯机械的装置来说是一项重要的甚至是决定性的进步，因为电是可以担当这一任务的。

霍勒里思的机电制表机在1890年和1900年的美国人口普查中获得了成功的应用。即使用上了霍勒里思的装置，1890年6 500万人的人口普查也花了两年半时间才列表完毕。但是，到了1900年，他已经改进了自己的机器，使卡片能自动进给，并由电刷读出。于是1900年的新的更大的人口普查仅用了一年半多一点的时间就完成了全部统计工作。

霍勒里思创办了一家公司，它就是国际商业机器公司(IBM)的前身。这家公司以及由霍勒里思的助手鲍尔斯领导的雷明顿·兰德公司，在其后的30年中对机电计算系统进行了不断的改进。

这两家公司不得不这样做。

随着工业化的进展，世界经济越来越复杂化。而且，想成功地管理世界事物，必须要越来越多地知道有关的数字、信息和统计资料的细节。世界正在变成一个**信息社会**，而人类如果不能足够快地学会收集、理解这些信息并做出相应的反应，则这样一种信息社会会因负荷太重而崩溃。

正是由于这种无情的压力，这种必须处理不断增加的大量信息的压力，推动社会向着发明更加精巧、更加多样化和更大容量的计算装置的方向前进。这种前进趋势自20世纪开始以来一直势头未减。

机电计算机的速度越来越高，而且在整个第二次世界大战期间得到了广泛地应用。但是，只要这些机器离不开像开关继电器和控制计数轮的电磁铁之类的运动部件，它们的速度和可靠性就不会超过某种限度。

1925年，美国的电气工程师布什和他的同事们建造了一部能

解微分方程的机器。这部机器能够做巴贝奇想让他的机器做的事情。它是第一部成功的我们今天称之为**计算机**的仪器。这是部机电计算机。

1937年,哈佛大学的艾肯在IBM公司工作期间,设计了一台更为惊人的机电计算机。这部机器名叫IBM自动顺序控制计算器,在哈佛叫做马克Ⅰ型。它在1944年建造完毕,是为科学应用而设计的。它能够完成包含23位二进制数的数学运算。换句话说,它能在3秒钟内正确完成两个11位数的乘法运算。这是一部机电装置,由于它主要是用于处理数字,所以它是现代第一部**数字计算机**。(布什的装置,像计算尺一样,是通过把数字转变成长度的方法来求解。由于它使用的是**模拟量**,而不是数字本身,所以它是一部**模拟计算机**。)

但是,要取得完全的成功,这些计算机里的开关必须是电子的才行。对电流进行机械的中断和重新导通确实比轮子和齿轮要强得多,但还是既笨又慢,更不用说不可靠了。在电子器件如电子管中,可以对电子流进行精巧、准确和迅速得多地操作,而这就是下一个发展步骤。

第一部大型电子计算机共包含了19 000个真空管,它是由埃克特和莫奇利于第二次世界大战期间在宾夕法尼亚大学建造的,被称为**电子数值积分器和计算器**,简称ENIAC。ENIAC在1955年停止了工作并在1957年被拆除。当时这部机器才12岁,却已是一个毫无希望大大过时的老糊涂了,但是它却留下了很多非常尖端的后裔。ENIAC重达30吨,占地140平方米,而30年后具有同等功能的计算机可以做得像一台电冰箱一样大小,这都是由于使用了比老式的真空管小得多、快得多而又可靠得多的开关元件的缘故。

这方面的进展非常快,到了1948年,已经开始了小型电子计

算机的批量生产。5 年之内，已有2 000台电子计算机投入使用。到了 1961 年，这个数字增至10 000台。而到了 1970 年，使用中的计算机已突破100 000台的大关。然而这只不过是刚刚开始而已。

进展之所以如此迅速，是因为虽然电子技术能满足计算机械化的需要，电子真空管却不是这个问题的答案。真空管尺寸大、脆弱并需要消耗很多能量。1948 年，有人发明了晶体管（见第九章），由于有了这一类的固态器件，使得电子控制部件变得结实、小巧而且能耗极低。

在计算机尺寸变小、价格下降的同时，它们的容量和应用范围却在大大增加。在晶体管出现后的几十年间，人们很快一个接一个地发现了许多新的方法，将越来越多的信息容量和存贮量塞进一个比一个小的固态器件里去。到了 20 世纪 70 年代，**微晶片**盛行了起来；这是一种细小的硅片，上面在显微镜下蚀刻上了密集的电路。

结果不算太富有的人也买得起计算机了。很可能 20 世纪 80 年代会成为**家用计算机**盛行的年代，就像 20 世纪 50 年代是家用电视盛行的年代一样。

第二次世界大战以后投入使用的计算机，对当时的普通民众来说，已经像是“思维机器”了。于是，科学家和普通外行人士都开始思考**人工智能**的可能性和它可能带来的后果。人工智能这个术语是由麻省理工学院的计算机工程师麦卡锡首先使用的。

这方面的思考在今天比当时要广泛得多，出现仅仅 40 年的计算机已成为人们生活中必不可少的、有巨大能力的工具。没有计算机就不可能有空间探险。没有它们航天飞机就不能上天。没有它们，我们的战争机器也会崩溃，倒退到第二次世界大战时的程度。没有它们，任何工业，不论规模大小，甚至于几乎所有的办公室，都不能继续以目前的结构存在下去。美国的政府机构（特别是

联邦税务局)一般情况下本来就够无效的了,没有计算机的话他们就更加一筹莫展了。

于是,人们一直在不断地探索计算机的新用途。除了解题、作图、存取数据等等,还能用它们做一些琐碎的事情。经过编程,有些计算机能够下国际象棋,水平接近象棋大师。还有一些计算机可用来玩各种游戏;到了20世纪80年代,这些游戏抓住了千百万青少年的想象力并为厂家赢得了亿万美元的收益。计算机工程师们目前正努力改善计算机从一种语言翻译成另一种语言的能力,并赋予它们读、听和说的能力。

机器人

有没有什么事情是计算机最终也不能做的呢?产生这种问题是不可避免的。例如,能不能把某种计算机装入到一个类似人体的结构中去,以造出真正的自动机呢?(这不是指17世纪时造出的玩具,而是具有真人的相当一部分功能的人造人。)

甚至在第一批现代计算机问世以前,科学幻想作家们就已经严肃地考虑过这类事情。在1920年,捷克剧作家恰彼克发表了一部叫做《R.U.R.》的剧本,在这出戏中,一个名叫罗素姆的英国人大规模地生产自动机,生产自动机的目的是让它们去做世上所有的工作,以便使人类过上更好的日子;但是最终它们却造反了,消灭了人类,并使自己成为一种新的智慧生物。

"罗素姆"来自捷克语"rozum"一词,原意是"理性",而"**R.U.R.**"则是"罗素姆的全能机器人"的缩写。**机器人**一词在捷克语中是"工人"的意思,但同时又有非自愿地受奴役的含意,所以还可翻译成"农奴"或"奴隶"。这出戏大受欢迎并广为流传,因而使旧的术语"自动机"一词不再流行,而在所有语言中,取而代之的都是**机器人**。因此现在一提起机器人,我们就会想到它是一部人造装置

(在人们的想象中,它还至少略具一点人形),具有通常认为是人类成员才会具有的一些功能。

但是,总的来说,科学幻想作家们并没有把机器人当作真实的东西来对待,而只是用它们来告诫人类。它们不是以恶棍便是以英雄的面目出现,引入这类角色的目的是清楚地展示人类的状况。

然而,到了 1939 年,当时年仅 19 岁的阿西莫夫(是的,就是本书的作者)对不是坏得极不真实就是好得极不真实的机器人感到厌倦了,于是便开始发表了一些专谈机器人的科学幻想小说。他把机器人看作仅仅是机器,就像所有其他机器一样,这些机器人在建造时已采取了合理的安全保障措施。他在整个 20 世纪 40 年代期间,连续发表了多部这类小说。到了 1950 年,其中的九部被集成一本书,书名叫做**《我是机器人》**。

阿西莫夫提出的安全保障措施,定型后就是"机器人学三定律"。这种说法是在 1942 年 3 月发表的一部小说中首次提出的,这是现在所知的第一次有人使用**机器人学**这个词。机器人学今天已成了广为人知的术语,指的是关于设计、建造、维护和使用机器人方面的一切科学与工艺学。

机器人学三定律是:

1. 机器人不得伤害人类,并必须尽力防止人类受到伤害。

2. 在不违背第一定律的前提下,机器人必须服从人类的一切命令。

3. 在不违背前两条定律的前提下,机器人必须保护自身的存在。

当然,阿西莫夫所提出的只不过是纯粹的推测而已,最多只能当作灵感的来源,而实际工作是由科学家们做的。

进行这方面的工作部分是由于第二次世界大战的压力。电子学的应用使人们可以赋予武器装备非常灵敏快速的反应能力,甚

至超过了生物体的功能。另外，无线电的作用范围也有了明显地增加。战争中德国的自动操纵飞弹，基本上就是一个飞行的**随动系统**。它不仅引出了导弹的发展，还带来了所有各种自动和遥控操纵的运动装置发展的可能性，这些装置从地铁列车到宇宙飞船，范围很广。由于军方对这些装置的兴趣最为强烈，又具有最丰富的资金来源，随动系统恐怕是在枪炮和火箭的瞄准和发射机构中发展到了最高水平。这些系统能够在上千公里外发现一个快速移动的目标，立刻算出它的路径（并把目标运动的速度、风的情况、大气中各层的温度及其他许多因素都计算在内），并极其准确地击中它，整个过程完全不需人的指导。

数学家维纳是一个非常热心于自动化的理论家和倡导者。他也曾致力研究这类目标问题。20 世纪 40 年代期间，他和他领导的麻省理工学院的科研小组研究出了一些关于处理反馈的基本数学关系。他把这一研究分支称做**控制论**，英语中控制论一词是以希腊语“舵手”一词为基础创造的。这好像很合适，因为随动系统最早的应用和舵手有关系。（“控制论”这个词还回应了瓦特的离心调速器，因为英语的“调速器”一词就是来源于拉丁语的“舵手”一词。）

维纳的**《控制论》**是第一部完全针对计算机控制理论的重要著作。掌握了控制论的原理，人们即使造不出机器人，至少也能造出一些利用这些原理模仿简单动物的行为的系统。

例如，英国神经病学家沃尔特在 20 世纪 50 年代建造了一个装置，能够探测周围环境并对之做出反应。他把这种外观像“龟”的东西称做“testudo”，这个词在拉丁语中是“龟”的意思。这个装置有一个光电池作为眼，一个传感器用于触觉，以及两部电动机——一部用于前进和后退，另一部用于转向。在黑暗中，它会绕着一个大弧爬行。当它碰到一个障碍物时，会退后一点，转一个小

角度后再度前进；如果再碰到障碍物，它会重复以上动作，直到绕过去为止。当它的光电眼看到一处光源时，转向的电动机就会关掉，然后这东西就会向光源一直走去。但是这种向光性是受到控制的；当它走近光源时，亮度的增加使它向后，这样它就不至于犯飞蛾投火的错误。但是，当它的电池快要耗尽时这只“饥饿”的龟就会走近光源以接触放在电灯泡旁的充电器。电充好了以后，这只龟的感觉又变得敏锐了，它又会从灯泡周围的明亮区域中退出去。

除了战争的压力以外，我们也不能完全忽略灵感的影响。在20世纪50年代早期，哥伦比亚大学的本科生恩格尔伯格阅读了阿西莫夫的**《我是机器人》**一书，从此引发了终生不息的研究机器人的热情。

1956年，恩格尔伯格认识了小德沃尔。小德沃尔在两年前曾获得了第一个工业机器人的专利。他把这个机器人的控制和计算机记忆系统叫做**全能的自动化**，简称**全自动化**。

恩格尔伯格和小德沃尔共同创办了全自动化公司，随后，小德沃尔又开发了三四十项有关的专利。

这些专利没有一项是实用的，因为如果机器人没有计算机化，就不可能完成它们的工作，而当时的计算机尺寸大、价格高，使用这类计算机的机器人不具备完成任何工作的竞争力。只是到了微晶片问世以后，全自动化公司的机器人设计才在市场上有了吸引力。很快，全自动化公司成了世界上最重要、利润额最高的机器人公司。

工业机器人的时代从此来临了。工业机器人不具备经典机器人的外观，它身上一点明显的人类特点也没有。它基本上就是一条计算机化的手臂。它可以极其精确地完成一些简单的动作，而且由于计算机化的原因，还具有一定的灵活性。

工业机器人问世以来，最大的应用是在装配线上(特别是在日本的汽车装配线上)。我们第一次拥有了这样一种足够复杂、有足够“才能”的机器，能用来做以前需要人类的判断力才能够完成的工作。而这类工作所要求的人类判断力往往非常有限，如果强迫人脑做这种重复性的、令人麻木的判断工作，则有可能由于总也激发不出它的全部潜力而使之受到损害。

使用机器来做那些对人脑来说过于简单(而对低于机器人的东西来说又太复杂)的工作，显然是有益的。这样就能使人们腾出空来，有可能专心致力于更富创造性的能延伸和扩展他们头脑的劳动。

但是，工业机器人的使用已经显示了近期的、令人不快的副作用。它们代替了一部分工人。我们可能正在走向一个痛苦的转变时期，在这个时期中，社会将面临下述问题：对新产生的失业者该怎么办？如何对他们进行重新教育或重新训练以使他们能胜任别的工作？或者在无法这样做时，怎样为他们找到他们能做的有益的工作？或者在这些都做不到时，怎样养活他们？

也许，经过一段时间以后，经过对新一代人的教育，使他们成为计算机化、机器人化的社会里的一部分，那时情况会好转。

然而技术还会继续进展。有一种很强的推动力在驱使我们发展能力更强、灵活性更高、能够“看”、“说”、“听”的机器人。而且有人还在开发家用机器人——这些机器人外观更像人类，在家里会有一些用处，并能完成以往是由仆人完成的一些工作。(恩格尔伯格有这样一个装置的原型，他希望不久就能在自己家里启用它：这个装置能接下外衣、分发饮料以及做一些其他的简单活计。他把这个装置叫做艾萨克。)

我们不得不怀疑，计算机和机器人最终能不能取代人类的所有能力？它们会不会变得在各方面都比人类强，从而使人类变得

陈旧过时，并取代人类的地位呢？我们自己创造的人工智能，是不是注定要取代我们，而成为支配地球的实体呢？

关于这一点，有人也许会持宿命论的观点。如果这是不可避免的，那么反正也没有办法。而且，人类的表现也并不怎么样，我们也许已经走上了自我毁灭（还毁灭其他许多生物）的道路。也许我们不应该惧怕计算机会取代我们的地位，而是应该担心在这种取代还没来得及发生时我们已经完了。

我们甚至可能为此感到得意。还有什么成就比创造出最终超过创造者自己的作品更加伟大呢？我们怀着成功的喜悦，将自己的遗产传给我们自己创造的更高的智能，这难道不是智慧最辉煌的胜利吗？

但是，还是让我们现实一点。这种取代真的会发生吗？

首先，我们得问一问智能是否是一个一维变量，或者说是否存在着不止一种甚至是很多种本质上互不相同的智能。例如，如果海豚具有与我们相类似的智力，那么好像这两种智力的性质还是有所区别，不然不会至今还不能进行种间的交流。最终，计算机也可能会和我们有质的区别。假如真是如此，那一点也不会令人惊奇。

无论如何，人脑是在一个充满水的背景上，由核酸和蛋白质构成的，它是35亿年生命进化的结果，离不开突变的随机影响、自然选择和其他因素，并为了生存的需要而进步。

在另一方面，计算机是在一个半导体的背景上，由电子开关和电流构成的。它是40年来人类设计发展的产物，离不开人类的先见之明和创新能力，并为了人类使用上的需要而不断改进。

如果两种智能在结构上、历史上、发展过程上和目的上都有如此重大的区别，那么如果它们在性质上也有很大区别的话则丝毫不足为奇。

例如，从一开始，计算机就能够解决对数字进行算术运算的复杂问题。解决这种问题时，它们的速度大大超过任何人，而出错的可能性则大大低于任何人。如果智力是用算术能力来衡量的话，那么计算机从一开始就比人类智力高。

但是，很有可能人脑主要地并不是用来掌握算术或其他类似技能的；也许因为这些工作并不是我们的专长，所以我们理所当然地做不好。

很有可能对人类智力的衡量要包括许多微妙的性质，诸如洞察力、直觉、幻想、想象力和创造力等等，也就是把一个问题看成一个整体并通过对情况的"感觉"猜测问题答案的能力。如果是这样的话，那么人类的智力非常高，而计算机的智力则实在是太低了。现在我们还找不到在这方面提高计算机智力的便利方法。人们不能通过编程使计算机拥有直觉和创造力，这是因为我们目前尚不知道我们自己行使这些能力时具体是在做什么。

我们是否可能在将来学会如何给计算机编程以使它们具有这种人类的智力呢？

这是可以想象的。但是到了那个时候，由于我们自然不愿被取代，也许就不会这样做了。何况，我们完全可以通过正常的生理过程生育真人，复制人类的智力——建造一部也许带点儿人性的计算机——又有什么意义呢？这很像从幼儿时期就开始训练一些人专去完成类似计算机能做的"数学奇迹"一样。这样做毫无道理，因为即使是最便宜的计算装置也能做这些题。

继续发展两种具有不同专长的智力，对我们来说肯定是有利的。这样就能最有效地完成各种不同的功能。我们甚至可以想象将来会有许多种具有不同类型智力的计算机。而且，使用遗传工程的方法（并在计算机的帮助下），我们甚至有可能发展出表现人类不同智力的多种人脑。

有了各种各样的智力，至少有可能建立一种共生关系。其中的各方将会相互合作，学会怎样才能最好地了解大自然的规律，以及我们应该如何遵循这些规律才会尽量不造成损害。这种合作的结果肯定比其中任何一种智力单独工作要强。

从这个角度来看，机器人或计算机不会取代我们的地位，而会作为我们的朋友和同盟者，同我们一道走向光辉灿烂的未来——只要我们在此之前不要自我毁灭。

（夏飞　译）

附录:科学中的数学

引　力

如同我在第一章中所解释的,伽利略提出由观察和实验推导出基本原理的思想,开创了近代科学。同时,他还采用了精确测量自然现象的技术,抛弃了只是用一些笼统的词句来描述自然现象的做法。简单地讲,伽利略把希腊思想家对宇宙的定性描述转为定量描述。

虽然科学需要大量的数学关系式以及数学运算,而且在伽利略看来,没有数学科学便不能存在,但是在我仔细考虑过之后,还是决定不以数学的方式来写这本书。毕竟数学是一种高度专门化的工具,如果以数学术语来讨论科学的进展,不仅篇幅不允许,同时读者也应对数学有相当程度的了解。但是在这一章里,我将介绍一两个例子,说明人们是怎样把简单的数学知识应用于科学的。还有什么比从伽利略开始更好的呢?

牛顿第一运动定律

伽利略与比他早一世纪的列奥纳多·达·芬奇一样,怀疑掉落的物体在掉落的过程中,速度会不断地增加。他开始准确地测量这个速度是多少以及以何种方式来增加。

对伽利略来说，用他在 1600 年所能使用的工具进行这种测量，真是困难极了。要计算速度就得计算时间。我们谈到速度时，常说**每小时** 60 公里，或**每秒** 13 米，但是在伽利略时代只有那种每隔一段大约相等的时间敲打一下的老式时钟。

伽利略利用一个很简陋的水钟。他让水从一个小孔中漏出，滴进一个杯子里，满怀希望地假设水是以恒定的速率滴出的。通过测量一个事件发生期间所收集的水的重量，伽利略计算出经过的时间。他有时也用自己的脉搏来计算时间。

然而有一个问题是：物体掉落得太快了，以至于在掉落的时间里，伽利略无法收集足够的水去做精确的称量。因此，他便把一个铜球放在倾斜平面的凹槽中下滑，以减弱引力的拉力。平面愈趋于水平，球滚得也就愈慢。这样，伽利略就可以随心所欲地研究在任何角度做**慢速运动**的落体。

伽利略发现，一个在理想化水平面上运动的球，如果不考虑摩擦力的话（在伽利略粗糙测量的限度内，可以这样假定），它的速率是一定的，由于在水平轨道中运动的物体和引力成垂直，因此其速度不会受引力的影响。任何人都可以看到，一个在水平平面上静止的球，始终保持静止，而伽利略观察到，一个在水平平面上开始运动的球，会以匀速运动。

从数学的观点来看，可以说：**在没有外力的作用下，**一个物体的速度 v 是一个恒定值 k，或者说：

$$v = k.$$

如果 k 是非零的数，则球匀速运动。如果 k 是零，那么球便是静止的；因此，静止可以说是匀速运动的一个“特例”。

大约一个世纪后，牛顿把伽利略有关落体的发现加以整理，发现了**牛顿第一运动定律，**也称为**惯性定律**。这个定律说：任何物体不受外力就不会改变它原本静止或匀速度直线运动的状态。

然而,当一个球从倾斜的平面下滑时,会持续地受到引力的作用,伽利略发现它的速度并不是一个恒定值,而是随时间增加。伽利略的测量表明,速度和经过的时间 t 成正比。

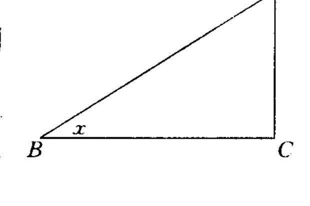
换句话说,当一个物体在一恒定外力的作用之下,从静止开始时,它的速度可以表示为:

$$v = kt.$$

那么 k 的值是多少呢?

从实验中很容易发现,这个值和斜面的坡度有关。斜面愈近于垂直,球滚动的速度就愈快,k 值也就愈大;在斜面完全垂直时,也就是在没有减弱的引力作用的情况下,球自由落下时,速度增加得最快。在引力没有减弱的情况下,常用 g 来表示 k,所以一个从静止开始的自由落体,它的速度是:

$$v = gt.$$



让我们来考虑一下斜面。在这个图中:

斜面的长度是 AB,高度是 AC。AC 对 AB 的比值是角度 x 的正弦,通常写为 $\sin x$。

我们可以依照特定的角度绘出三角形,然后量出它的高及斜面长度,求得 $\sin x$ 的近似值。或者是用数学的技巧,求出任一精确角度的值。把这些值可以列成一个表,通过查阅表,我们就可得到任一角度的值,比方说 $\sin 10°$ 大约是 0.17365,$\sin 45°$ 差不多是 0.70711 等等。

有两个重要的特殊情况:假设"倾斜的"平面呈完全水平,那么角度是零,这倾斜面的高度也是零,则高度对斜面长度的比值当然也是零。换句话说,$\sin 0° = 0$。当倾斜面完全垂直时,它与底面构成直角,或 90°角。它的高正好等于它的长,因此两者的比率是 1。

因此，$\sin 90^\circ = 1$。

现在，让我们回到由斜面滑下的球的速度与时间成正比的方面来：

$$v = kt$$

实验可以证明，k 值随角度的正弦而变化，因此：

$$k = k' \sin x$$

k' 用来表示一个和 k 不等的常数。

其实，三角函数和斜面的关系，早在伽利略时代之前，就已经由史蒂文发现，他也做了著名实验，就是把不同质量的物体从一个高度掉下；已往大家都误认为这个实验是伽利略做的。不过，即使伽利略不是第一位做实验和做测量的人，他也是第一位让科学界深深了解到实验及测量之必要性的人。就这一点而言，成就已是相当辉煌了。

在斜面完全垂直的情况下，$\sin x$ 成了 $\sin 90^\circ$，其值是 1，所以在自由落体中：

$$k = k'$$

也就是说，k' 是在自由落体中承受未被减弱的引力作用时的 k 值，这个值我们已经说过用 g 来表示，我们可以用 g 来代替 k'，因此对于任何坡度的斜面来说：

$$k = g \sin x$$

所以，一个由斜面上滑下的物体，其速度方程是：

$$v = (g \sin x) t$$

在水平平面上，因为 $\sin x = \sin 0^\circ = 0$，所以速度方程为：

$$v = 0$$

也可以这样说，一个在水平面上一开始就静止的球，无论经过多少时间，都会保持不动。一个静止的物体有保持静止的倾向等等，这是牛顿第一运动定律的一部分，是由斜面的速度方程推导出来的。

假设一个球并不是从静止开始,而在开始下落之前就有一初始运动。换句话说,假设你有一球沿水平平面以每秒 5 米的速度滚动着,突然滚到一个斜面的上端点而开始往下滚。实验表明,在下滚的任何时刻,球的速度要比从静止开始下滚的速度大每秒 5 米。换句话说,一个从斜面下滚的球,它的运动方程可以更完整地写为:

$$v = (g\sin x)t + V$$

V 是起始速度。如果一个物体从静止开始,那么 V 等于零,这时运动方程就成了我们以前写过的:

$$v = (g\sin x)t$$

如果我们再考虑一个具有某个起始速度,而在水平平面上运动的物体,因为角度 x 是 0°,所以方程成为:

$$v = (g\sin 0°) + V$$

因为 sin0°是零,所以也可以写成:

$$v = V$$

因此,像这样的物体,不管时间经过多久,它的速度会始终保持起始的速度。这是牛顿第一运动定律的另一部分,也是从观察斜面运动推导出来的。

速度改变的快慢程度叫做**加速度**。比方说,一个从面上滚下来的球,在相继的每一秒钟结束的时候,它的速度是每秒 2、4、6、8…… 米,那么它的加速度便是 2 米每秒平方,通常写为 2 米/秒^2)。

在自由落体中,如果我们用这个方程:

$$v = gt$$

则在每秒的下落中,速度会每秒增加 g 米。因此,g 便表示由引力造成的加速度。

g 的值可以由斜面实验来决定。我们将斜面方程改写为:

$$g = v/(t\sin x).$$

由于 v、t 和 x 都可以测量，由此 g 便可算出。结果在地球表面上，它的值是 9.8 米每秒平方。在地球表面正常引力下的自由落体，下落速度和时间的关系便可写为：

$$v = 9.8t$$

这就是对伽利略当初所提问题的解答，也就是决定落体的速率，以及该速率变化的方式。

下一个问题是：在一定的时间之内，球降落了多少呢？从速度与时间的关系方程，可以用微积分中**积分**的方法，导出距离及时间的关系。然而这样做并无必要，因为这一方程可以由实验做出，而且实际上伽利略已经做出了。

他发现，从斜面上滚下来的球所走的距离和时间的平方成正比。换句话说，时间加倍距离会增为 4 倍；时间 3 倍则距离会增为 9 倍，依此类推。

对一个自由落体而言，距离 d 和时间的方程是：

$$d = 1/2gt^2$$

因 g 等于 9.8，也可以写为：

$$d = 4.9t^2$$

接下去，假设物体不是由静止开始下落，而是从高空中水平地抛出，它的运动将会由两种运动合成，一种是水平的，另一种则是垂直的。

在水平方向上，如果我们不考虑风力、空气阻力等等，则由于除了开始的冲力外，并没有其他任何作用力，所以根据第一定律，是一种匀速运动，因而物体所走的水平距离跟经过的时间成正比。然而在垂直方向上所走的距离，如同我们刚才解释过的，和时间的平方成正比。在伽利略之前，人们含糊地相信，一个类似炮弹的抛射体会依直线运动，直到推动它的推力用完，再垂直地落下。但伽

利略却有了巨大的进展,他把这两种运动**结合**起来了。

这两种运动的结合(与时间成正比的水平方向运动和与时间的平方成正比的垂直方向的运动),形成了一条叫做**抛物线**的曲线。即使一个物体不是水平地被抛出,而是向上或向下抛出,其运动的曲线仍是一条抛物线。

这样的运动曲线当然适用于像炮弹一类的抛射体,所以也有人称之为弹道。从伽利略对弹道所做的数学分析,使我们能计算出当一枚炮弹以一定的爆炸力量和一定的仰角发射时,它将落于何处。虽然几千年来人们曾经为了好玩、为了觅食、为了攻击或防御而扔东西,但是由于伽利略的实验和测量,才产生了一门叫**弹道学**的科学。说来也巧,这也是现代实验科学直接用于军事的第一项成果。

在理论上这项成果也有相当重要的应用。把一种以上的运动加以结合的数学分析,解决了哥白尼学说的一些异议。它说明了向上抛出的物体不会被运动着的地球甩掉,因为这个物体有两种运动:一种是由上抛时的推力所造成,另一种则由运动的地球所造成。这个分析立刻使我们很合理地期望地球也有两种运动:绕轴自转和绕太阳公转;这是不相信哥白尼学说的人所无法想象的。

牛顿第二和第三定律

牛顿把伽利略的运动概念扩展到天体,证明这些运动定律在天体中也像在地球上一样适用。

他开始考虑月球由于受到地球引力的缘故,可能朝地球降落,但是由于运动的水平部分使它不致于撞击到地球表面。如同前面所说的,一个水平发射的抛射体,会沿着抛物线路径向下而和地球表面相交;但是由于地球是球体,它的表面也向下弯曲,当以足够快的水平运动速率发射的抛射体,可能向下弯曲的速率不如地球

表面下弯得快,因此抛射体会永远围绕着地球旋转。

现在,月球绕地球的椭圆运动可以分成水平和垂直运动两种成分,垂直运动使月球每秒朝地球落下大约 0.13 厘米;在这段时间里,它在水平方向移动了大约 1 006 米,足以补偿它的下落,使它继续绕地球曲率运转。

问题是:导致月球下落 0.13 厘米和从树上掉下来的苹果在第一秒内降落 4.9 米是否是同一引力所造成的呢?

牛顿设想,地球表面的引力,像是一个正在膨胀的大球,向各个方向上扩展。球的表面积 A 则和半径的平方成正比:

$$A = 4\pi r^2$$

他因此推断:分布于球面的引力,必然随半径的平方而减弱。光和声音的强度是随距离的平方而减弱的,引力又何以不会这样呢?

地球中心到它表面上一个苹果的距离差不多是6 400公里,而从地球中心到月球则大约是38 600公里。由于到月球的距离比到苹果的距离大 60^2 倍,所以地球对月球的引力比对苹果的引力弱 60^2 倍,或者说弱3 600倍。将 4.9 米除以3 600,得数约为 0.13 厘米。因此牛顿认为,月球的确受到地球引力吸引的支配而运动。

牛顿继续考虑**质量**和引力的关系。一般来说,我们把质量和重量混为一谈,但重量只是受到地球引力吸引的结果,如果没有引力,一个物体会变得没有重量;然而,它还是保持着一定的质量。因此,质量与重量无关,应该能够用一种不涉及重量的方法来计量。

假设你在一个完全没有摩擦的平面上,与地球表面成水平地拉动一个物体。虽然已经没有任何来自引力的阻力,由于物体惯性的缘故,你仍需用力才能使这个物体移动,并加速它的运动。

如果你精确地测量所施的力,比方说,通过拉动附在物体上的弹簧秤,你会发现使物体产生一定加速度 a 所需的力 f 和物体的

质量 m 成正比。如果你把质量加倍,你便需要花两倍的力。对一个一定质量的物体,所需施的力和想要的加速度成正比。以数学的方式来讲,可以用这个方程来表示:

$$f = ma$$

这就是**牛顿第二运动定律**。

正如伽利略所发现的,地球的引力使所有的物体,不管轻的或重的,都以完全相同的速率加速。空气阻力可能使非常轻的物体的降落速度减慢,但是在真空中,一根羽毛和一铅块会降落得一样快,这很容易证明。如果牛顿第二运动定律成立,那我们可以推出这样的结论:地球的引力作用,对重的物体要比对轻的物体来得大,才能产生相同的加速度。比方说,要加速一个质量是另一个物体 8 倍的东西,则需要 8 倍的力。因此,作用于任何物体上的地球的引力都必然和它的质量正好成正比。事实上,这便是在地球表面上质量可以计量得和重量一样的原因。

牛顿还推导出**第三运动定律**:对于每一作用,都有一大小相等、方向相反的反作用。这个定律适用于力的观念。换句话说,如果地球以一定的力吸引月球,那么月球也以相等的力吸引地球。按照第二定律,如果月球的质量突然加倍,地球作用在它上面的力也会随之加倍。当然,按照第三定律,月球对地球的引力也会加倍。

同样,如果不是月球,而是地球的质量加倍,按照第二定律,月球作用在地球上的引力会加倍,同时按照第三定律,地球作用于月球的引力也会加倍。

如果地球和月球的质量都加倍,则会有两个加倍,每一个物体的引力都会加倍两次,总共增加为 4 倍。

在这种推理之下,牛顿只能做出这样的结论,就是宇宙中任何两个物体之间的引力和它们质量的乘积成正比。同时,当然也和

两者中心的距离之平方成反比。这就是牛顿的**万有引力定律。**

如果我们用 f 表示引力，m_1 和 m_2 表示两物体的质量，d 表示两者之间的距离，那么这个定律可以写成：

$$f=\frac{Gm_1m_2}{d^2}$$

G 是万有引力常数，它的值可以用来测量地球的重量（详见第四章）。牛顿推测在宇宙各处 G 都是一个恒定值。随着时间的推移，人们发现在牛顿时期未能看见的行星，以牛顿定律的要求在运动，甚至遥远的双星也按照牛顿关于宇宙的分析在运行。

这一切都是由伽利略对宇宙的新的定量观点得来的。你可以看得出，牵涉到的数学大都十分简单，所提到的都是高中代数而已。

事实上，我们上面所介绍的最重要的一项智慧革命是：

1. 简单的一组观察，任何学过高中物理的学生稍微接受一点指导就有可能做出来。

2. 简单的一组只有高中程度的数学概念。

3. 两位杰出的天才，伽利略与牛顿。他们有特殊的洞察力和创造力，因而首先完成了这些观察和推论。

相　对　论

由伽利略和牛顿所推衍出的运动定律必须依靠一项假设，就是绝对运动的存在。所谓绝对运动，也就是相对于静止物体的运动。我们知道宇宙中的每一个物体，如地球、太阳以及所有的银河系都在运动，那么在宇宙中，我们怎样才能找到绝对的静止，来测

量绝对的运动呢?

迈克耳孙-莫雷实验

由于这条思路,引出了迈克耳孙-莫雷实验,而这个实验又导致如同当年伽利略那样伟大的科学革命。在这里,基本的数学也是相当地简单。

这个实验是尝试测定地球相对于**以太**的绝对运动。以太被认为充满了整个宇宙,而且是静止的。实验的推理如下:

假设有一束光,沿地球运行的方向通过以太;在这个方向的某处,固定一面镜子把这束光反射回光源。让我们以 c 来表示光的速度,以 v 来表示地球通过的以太的速度,光源离镜子的距离是 d。光束以它自己的速度加上地球的速度开始,也就是一般所说的顺风。它到达镜子需要的时间是 d 除以$(c+v)$。

然而在回程中,情况正好相反。反射的光束正好逆着地球的速度方向射过来,因此它的净速度是 $c-v$,它返回光源所需的时间是 d 除以$(c-v)$。

往返一次所需的总时间是:

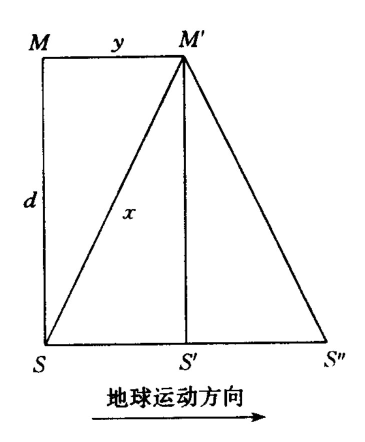
$$\frac{d}{c+v}+\frac{d}{c-v}$$

把这两项做代数的相加,我们得到:

$$\frac{d(c-v)+d(c+v)}{(c+v)(c-v)}=\frac{dc-dv+dc+dv}{c^2-v^2}=\frac{2dc}{c^2-v^2}$$

现在假设光束进行的方向和地球通过以太的方向垂直,那么这束光从 S 射向距离 d 处的镜子 M 时,在光束到达镜子的这段时间里,地球的运动已把镜子从 M 带到 M' 处,所以光束真正走的路径是从 S 到 M'。这个距离我们叫它 x,而从 M 到 M' 的距离叫做 y(见下页图)。

当光束以速度 c 在距离 x 中运动时，镜子也以地球速度 v 在距离 y 中运动。由于光束和镜子同时到达 M'，因此所走的距离必然和各自的速度成正比。所以，



$$\frac{y}{x}=\frac{v}{c}$$

或者：

$$y=\frac{vx}{c}.$$

现在，我们可以用毕达哥拉斯定理（勾股定理）求出 x 的值。毕氏定理告诉我们，在直角三角形中，两边的平方和等于斜边的平方。因此，以 vx/c 代表 y，在直角三角形 SMM' 里：

$$x^2=d^2+\left(\frac{vx}{c}\right)^2$$

$$x^2-\left(\frac{vx}{c}\right)^2=d^2$$

$$x^2-\frac{v^2x^2}{c^2}=d^2$$

$$\frac{c^2x^2-v^2x^2}{c^2}=d^2$$

$$(c^2-v^2)x^2=d^2c^2$$

$$x^2=\frac{d^2c^2}{c^2-v^2}$$

$$x=\frac{dc}{\sqrt{c^2-v^2}}.$$

光束在 M' 被镜子反射回到光源，在这段时间内光走到 S''。由于 $S'S''$ 和 SS' 距离相等，所以 $M'S''$ 的距离也就等于 x。所以光

束走的总距离是 $2x$,或者是$\frac{2dc}{\sqrt{c^2-v^2}}$。

光束走这段距离所需的时间是:

$$\frac{2dc}{\sqrt{c^2-v^2}} \div c = \frac{2d}{\sqrt{c^2-v^2}}.$$

这和光束沿地球运动的方向往返一次所需的时间比起来是怎样呢?让我们把平行情况下所需的时间$\left(\frac{2dc}{c^2-v^2}\right)$除以垂直情况下所需的时间$\left(\frac{2d}{\sqrt{c^2-v^2}}\right)$:

$$\frac{2dc}{c^2-v^2} \div \frac{2d}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{2dc}{c^2-v^2} \times \frac{\sqrt{c^2-v^2}}{2d} = \frac{c\ \sqrt{c^2-v^2}}{c^2-v^2}.$$

因为每一个数被自己的平方根来除,得到的商是自己的平方根,也就是说 $x/\sqrt{x}=\sqrt{x}$,因此,$\sqrt{x}/x=1/\sqrt{x}$。所以最后的式子简化为:

$$\frac{c}{\sqrt{c^2-v^2}}.$$

如果我们把分子和分母同时乘上 $\sqrt{1/c^2}$(等于 $1/c$)的话,上面的式子可以进一步简化为:

$$\frac{c\ \sqrt{1/c^2}}{\sqrt{c^2-v^2}\ \sqrt{1/c^2}} = \frac{c/c}{\sqrt{c^2/c^2-v^2/c^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

这就好了。这就是平行于地球运动方向和垂直于地球运动方向光束所需的时间比。对于任何比零大的 v 值,$1/\sqrt{1-v^2/c^2}$都大于 1。因此,如果地球正在穿越静止的以太,那么光束在地球运动方向上所走的时间,要比在垂直方向上所走的时间长。事实上,平行的运动需要时间最多,而垂直的运动需要时间最少。

迈克耳孙和莫雷准备以实验来测量光束在传播期间的方向差异。他们使光束在各方向上被反射回来,同时以相当精确的干涉

计测量返回的时间。他们认为应该可以得到相当大的速度差，光速最低值应该产生在和地球绝对运动平行的方向，而最高值则应当产生在垂直的方向。根据速度的差值，地球的绝对运动速度及方向应该都可以求出来。

结果他们发现，改变方向之后，光速并没有任何差别。换句话说，无论光源怎么运动，光速始终都等于 c。这和牛顿运动定律明显地不符。在尝试测量地球绝对运动之时，迈克耳孙和莫雷不仅怀疑以太的存在，而且怀疑绝对静止和绝对运动的整个概念，也怀疑牛顿宇宙系统的基础。

斐兹杰惹方程

爱尔兰物理学家斐兹杰惹想出了一个方法来挽救这种状况。他提出，所有物体的长度会在自己的运动方向上缩短，缩短的量是 $\sqrt{1-v^2/c^2}$，因此：

$$L' = L\sqrt{1-v^2/c^2}$$

L'是一个运动物体在它的运动方向上的长度，而 L 则是静止时的长度。

斐兹杰惹指出，缩短的量 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ 正好抵消在迈克耳孙-莫雷实验中光速最大值和最小值的比 $\sqrt{1-v^2/c^2}$。因此比会成为 1，而光速则不论光源如何通过以太，对我们的测量工具和感官而言，各个方向都是相等的。

在正常状况下，缩短的量非常之少。即使一个物体的运动速度是光速的1/10，或者说是每秒29 980公里，依照斐兹杰惹方程，也只会缩短一点点，把光速当做 1，这个方程告诉我们：

$$L' = L\sqrt{\left(1-\frac{0.1}{1}\right)^2}$$

$$L' = L\sqrt{1-0.01}$$

$$L' = L\sqrt{0.99}$$

因此 L'变成大约 $0.995L$,缩短的量只有 0.5%。

对运动物体而言,像这样的速度只会发生在亚原子粒子的领域中。一架时速3 000公里的飞机,它的缩短量小到几乎可以不计,你自己可以算算看。

在什么样的速度下,一个物体会缩短为静止长度的一半呢?由于 L'等于 L 的1/2,斐兹杰惹方程变成:

$$L/2 = L\sqrt{1-v^2/c^2}$$

用 L 来除变为:

$$1/2 = \sqrt{1-v^2/c^2}.$$

把方程两边平方:

$$1/4 = 1 - v^2/c^2$$

$$v^2/c^2 = 3/4$$

$$v = \sqrt{3/4}\,c = 0.866c.$$

因为在真空中光速是每秒299 800公里,所以要使物体缩短一半长度的速度是299 800公里的 0.886 倍,大约是259 600公里。

如果一个物体以光速进行,那么 v 就等于 c,方程就变成:

$$L' = L\sqrt{1-c^2/c^2} = L\sqrt{0} = 0.$$

因此在光速时,在运动方向上的长度变成零,所以没有任何速度可能超过光速。

洛仑兹方程

在斐兹杰惹提出他的方程后不到 10 年,便发现了电子,科学家们开始研究这种微小的带电粒子的性质。H.A.洛仑兹发展出一种理论,认为带一定电荷的粒子,其质量和它的半径成反比。换句话

说，一个粒子的电荷聚集在愈小的体积里，它的质量也就愈大。

现在，如果一个粒子因为它的运动而被缩短，它在运动方向上的半径将按照斐兹杰惹方程而减少。以符号 R 和 R' 代替 L 和 L'，我们写下方程：

$$R' = R\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$R'/R = \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

由于粒子的质量和它的半径成反比，因此：

$$\frac{R'}{R} = \frac{M}{M'}$$

M 是粒子静止时的质量，而 M' 是运动时的质量。

以 M/M' 代替 R'/R 放入上面的方程里，我们得到：

$$\frac{M}{M'} = \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$M' = \frac{M}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

洛仑兹方程可以和斐兹杰惹方程一样应用。例如，以1/10光速运动的粒子，视质量 M' 会比静止质量 M 高出 0.5%。在每秒259 600公里的速度时，粒子的视质量会是静止质量的两倍。

最后，对一个运动速度等于光速 c 的粒子，洛仑兹方程变成：

$$M' = \frac{M}{\sqrt{1 - c^2/c^2}} = \frac{M}{0}.$$

当分数中的分子是一个定数而分母愈来愈小（趋近于零）时，分数的值会变得愈来愈大，而且没有极限。换句话说，从上面的方程看来，一个以趋近于光速运动的物体，它的质量会变得无穷大，再一次地证明了光速是所能达到的最大速度。

所有这些都使爱因斯坦决定要改写运动定律和引力定律。他考虑了一个宇宙，在这个宇宙中可以期望得到迈克耳孙-莫雷实验

的结果。

然而问题还没完全解决。请注意,在洛仑兹方程中,假设 M 的数值大于零,这对于大部分我们所熟悉的粒子,和所有由这些粒子构成的物体,从原子到星球,都是对的。但是有一些粒子——中微子和反中微子,它们在静止时的质量(或**静止质量**)M 等于零;对光子而言也是如此。

这些粒子在真空中以光速行进,它们刚形成时就以这种速度运动,测量不到有任何的加速时间。

我们可能会怀疑,如果一个光子或一个中微子从未静止过,而只有在以每秒299 800公里的匀速运动中(在没有干扰的情况下)才能存在,那么我们怎么可以说它们有静止质量呢? 因此物理学家比兰尼克和苏达杉建议,把 M 称为**固有质量**。对一个质量大于零的粒子,它的固有质量等于这粒子与测量的仪器和观察者相对静止状态时所量得的质量。对一个质量为零的粒子,固有质量必须用间接的方法推断。比兰尼克和苏达杉建议把所有固有质量为零的粒子叫做**光速子**(源自拉丁语"光"),因为它们的速度是光速;把固有质量大于零的粒子叫做**次光速子**,因为它们以低于光速的速度行进,此速度也称为**次光速**。

1962 年,比兰尼克和苏达杉开始推想比光速快的速度——**超光速**所造成的结果。任何比光速快的粒子具有一个虚的质量。也就是说,它的质量是某个普通数字乘上 -1的平方根。

比方说,假设一个粒子以两倍光速行进,在洛仑兹方程中,$v=2c$,那么:

$$M'=\frac{M}{\sqrt{1-(2c)^2/c^2}}=\frac{M}{\sqrt{1-4c^2/c^2}}=\frac{M}{\sqrt{-3}}$$

结果成为:运动中的质量是固有质量除以 $\sqrt{-3}$。但 $\sqrt{-3}$ 等于 $\sqrt{3}\times\sqrt{-1}$,因此等于 1.74 $\sqrt{-1}$。所以它的固有质量等于 $M'\times$

$1.74\times\sqrt{-1}$。由于任何包含$\sqrt{-1}$的量都被称为**虚数**，因此我们可以推导出：速度超过光速的粒子，必然有一个虚的固有质量。

在我们正常宇宙中的正常粒子，始终都有等于零或者大于零的质量；一个虚的质量在我们的宇宙中没有可以想象得到的重要性，这是否意味比光速快的速度不可能存在呢？

不见得。如果承认虚的固有质量存在，我们便可以利用超光速粒子来满足爱因斯坦的狭义相对论方程。然而这样的粒子显示出一种佯谬的性质：它们走得越慢，所含的能量也就越多。这和我们宇宙中的情形正好相反，而可能是虚质量的特性。一个具有虚质量的粒子在碰到阻力时会加速，而受到一个力推动时会减速，随着能量的减少，它愈走愈快，直到能量为零时，它的速度会是无限大；随着能量的增加，它愈走愈慢，直到能量趋近于无穷大时，会降低到接近光速。

像这种速度超过光速的粒子，美国物理学家范伯格起了个名字叫**超光速粒子**。这个词在希腊文中是“速度”的意思。

因此我们可以想象存在着两种宇宙：一种是我们的宇宙，叫**次光速宇宙**，在这种宇宙里所有粒子的速度都比光速低，而随着能量的增加逐渐加速到近乎光速；另一种叫做**超光速宇宙**，在这种宇宙里所有粒子的速度都比光速高，而随着能量的增加逐渐减速到近乎光速。介于两者之间的，是无限窄的**光速墙**，可以被视为由两种宇宙共同所有。

如果一个超光速粒子有足够的能量使它足够慢地运动，这足够的能量或许能使它停留在某一点很久，而在这段时间内爆发出可以探测到的光子。即使在真空中，超光速粒子也会以切伦科夫辐射的形式，留下光子的痕迹。科学家们正在观察着这些光子的爆发，但是，这些爆发很少发生，而且发生时间只有1万亿分之一秒甚至更短，所以要使一具仪器正好放在爆发产生的地方，这种机

会实在不是很多。

有一些物理学家相信,凡事只要不是不可能,就一定会发生。换句话说,任何现象只要不违反守恒定律,则必然会在某些时候发生;或者说,只要超光速粒子不违反狭义相对论,则它们必然存在。然而,即使最相信这是宇宙必具的一种“整齐性”的物理学家,也会很乐于得到一些不受禁止的超光速粒子的证据。到目前为止,他们尚未有任何发现。

爱因斯坦方程

爱因斯坦将洛仑兹方程的结果加以发展,产生了可能是科学界有史以来最伟大的方程。

洛仑兹方程可以写为:

$$M' = M(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$$

因为代数符号 $1/\sqrt{x}$ 可以写为 $x^{-1/2}$。这样这道方程便可以用牛顿发现的一个公式(即二项式定理)展开,也就是转换成一个项系列。

洛仑兹方程所能展开的项数无穷多,但由于每一项都比前一项来得小,如果只取前两项的话仍大致正确,其余项的总和太小,以致可以被忽略。展开后成为:

$$(1 - v^2/c^2)^{-1/2} = 1 + \frac{1/2v^2}{c^2} \cdots\cdots$$

代入洛仑兹方程,得到:

$$M' = M\left(1 + \frac{1/2v^2}{c^2}\right) = M + \frac{1/2Mv^2}{c^2}.$$

在经典物理学中,$1/2Mv^2$ 表示一个运动物体的能量,若我们以符号 e 代表能量,则上式变成:

$$M' = M + e/c^2$$

$$M' - M = e/c^2.$$

由运动所引起的质量增加$(M' - M)$可以用 m 来表示，所以：

$$m = e/c^2$$

或者：

$$e = MC^2.$$

正是这个方程第一次指出，质量是能量的一种形式。爱因斯坦继续证明这个方程适用于所有的质量，而不仅是由于运动所增加的质量。

在这里牵涉到的大部分数学知识同样只有高中程度。但它却展现给世人一个新的宇宙观，比牛顿的宇宙观还要伟大、还要广阔，同时它也指出了获得具体结果的道路。例如，它指出了通向核反应堆和原子弹之路。

（陈崇光 译）

人名译名对照表[1]

A

Abbe, Ernst Karl	阿贝
Abderhalden, Emil	阿伯德哈顿
Abel, Frederick Augustus	阿贝尔
Abelson, Philip	艾贝尔森
Acheson, Edward Goodrich	艾奇孙
Adam	亚当
Adams, John Couch	J.C.亚当斯
Adams, Leason Heberling	L.H.亚当斯
Adams, Walter Sydney	W.S.亚当斯
Addison, Thomas	艾迪生
Adrian, Edgar Doublas	艾德里安
Agamemnon	阿伽门农
Agassiz, Jean Louis Rodolphe	阿加西斯
Aiken, Howard	艾肯
Airy, George Biddell	爱里
Albert, (prince)	阿尔贝特(王子)
Alburger, David Elmer	阿尔贝格
Alcmaeon	阿尔克美翁

① 此表包括本书上下册的全部人名。

Alder, Kurt	阿尔德
Alfven, Hannes	阿耳文
Alhazen	海桑
Allbutt, Thomas Clifford	奥尔巴特
Alvarez, Luis Walter	阿尔瓦雷茨
Alvarez, Walter	阿尔瓦雷斯
Amagat, Emile Hilaire	阿玛加特
Ambartsumian, Victor Amazaspovich	阿姆巴楚米扬
Amontons, Guillaume	阿蒙通
Ampère, André Marie	安培
Amundsen, Roald	阿蒙森
Anderson, Carl David	安德森
Andrews, Thomas	安德鲁斯
Angstrom, Anders Jonas	埃斯特朗
Apian, Peter	阿皮安
Appert, François	阿佩尔
Appleton, Edward Victor	阿普顿
Aquinas, Thomas	托马斯·阿奎那
Archimedes	阿基米得
Archytas	阿契塔
Aristarchus	阿利斯塔克
Aristotle	亚里士多德
Armstrong, Edwin Howard	E.H.阿姆斯特朗
Armstrong, Neil Alden	N.A.阿姆斯特朗
Arnon, Daniel Israel	阿诺恩
Arp, Halton C.	阿普
Arrhenius, Svante August	阿伦尼乌斯

Artsimovich, Lev Andreevich	阿希墨维克
Aschheim, Selman	阿什海姆
Ashurbanipal	亚述巴尼拔
Asimov, Isaac	阿西莫夫
Astbury, William Thomas	阿斯特伯里
Aston, Francis William	阿斯顿
Atlas	阿特拉斯
Aumann, Harmut H.	奥曼
Avery, Oswald Theodore	艾弗里
Avogadro, Amedeo	阿伏伽德罗

B

Baade, Walter	巴德
Babbage, Charles	巴贝奇
Babinet, Jacques	巴俾涅
Babinski, François Félix	巴彬斯基
Bacon, Francis	F. 培根
Bacon, Roger	R. 培根
Baekeland, Leo Hendrik	贝克兰
Baer, Karl Ernst von	K. 贝尔
Baeyer, Adolf von	拜耳
Baffin, William	巴芬
Baird, John Logie	贝尔德
Baker, B. L.	B. L. 贝克
Baker, C. P.	C. P. 贝克
Balfour, Francis Maitland	鲍尔弗
Balmer, Johann Jakob	巴耳末

Bang, Olaf 班
Banting, Frederick Grant 班廷
Bardeen, John 巴丁
Barghoorn, Elso Sterrenberg 巴洪
Barkhausen, Heinrich 巴克好森
Barkla, Charles Glover 巴克拉
Barnard, Chistiaan C.巴纳德
Barnard, Edward Emerson E.E.巴纳德
Barnes, D.E. 巴恩斯
Barringer, Daniel Moreau 巴陵格
Bartlett, Neil 巴特勒特
Barton, Otis 巴顿
Basov, Nicolai Gennediyevich 巴索夫
Bateson, William 贝特森
Baum, William Alvin 鲍姆
Baumann, Eugen 鲍曼
Bawden, Frederick Charles 鲍登
Bay, Zoltan Lajos 巴伊
Bayliss, William Maddock 比德尔
Beadle, George Wells 贝利斯
Becker, Herbert 贝克尔
Beckwith, Jonathan 贝克威思
Becquerel, Alexandre Edmond A.E.贝克勒耳
Becquerel, Antoine Henri A.H.贝克勒耳
Beebe, Charles William 毕比
Beer, Wilhelm 比尔
Beguyer de Chancourtois, A.E. 比古耶·德·尚库图

Behring, Emil von	贝林
Beijerinck, Martinus Willem	贝哲林克
Bell, Alexander Graham	A.G.贝尔
Bell, Jocelyn	J.贝尔
Bell, Peter M.	P.M.贝尔
Bellingshausen, Fabian Gottlieb	别林斯高津
Benda, C.	本达
Beneden, Eduard van	范贝内登
Benedict, Francis Gano	贝内迪克特
Bennett, Floyd	贝内特
Benz, Karl	本茨
Berg, Otto	柏格
Berg, Paul	伯格
Berger, Hans	伯杰
Bergius, Friedrich	伯吉尤斯
Bergmann, Max	伯格曼
Berkner, Lloyd	伯克纳
Berliner, Émile	伯林纳
Bernard, Claude	贝尔纳
Bernoulli, Daniel	伯努利
Berthelot, Pierre Eugène Marcelin	贝特洛
Berzelius, Jöns Jacob	贝采利乌斯
Bessel, Friedrich Wilhelm	贝塞尔
Bessemer, Henry	贝色麦
Best, Charles Herbert	贝斯特
Bethe, Hans Albrecht	贝特
Biermann, Ludwig Franz	比尔曼

Bigeleisen, Jacob	比奇莱森
Bijvoet, Johannes Martin	比杰沃特
Bilaniuk, Olexa-Myron	比兰尼克
Billroth, Theodor	比尔罗特
Binet, Alfred	比奈
Biot, Jean Baptiste	毕奥
Birkeland, Olaf Kristian	伯克兰
Bittner, John Joseph	比特纳
Black, Joseph	布莱克
Blackett, Patrick M.S.	布莱克特
Blaiberg, Philip	布莱伯格
Blanchard, Jean Pierre	布朗夏尔
Blanqui, Jérôme Adolphe	布朗基
Bléiot, Louis	布莱里奥
Bleuler, Eugen	布洛伊勒
Bloch, Felix	F.布洛赫
Bloch, Konrad Emil	K.E.布洛赫
Bloembergen, Nicolaas	布洛姆伯根
Blout, Elkan Rogers	布劳特
Blumenbach, Johann Friedrich	布鲁门巴哈
Bohr, Niels H.D.	玻尔
Bolt, C.T.	博尔特
Bolton, John C.	博尔顿
Boltzmann, Ludwig	玻耳兹曼
Bonaparte, Napoleon	波拿巴
Bond, George Phillips	G.P.邦德
Bond, William Cranch	W.C.邦德

Bondi, Hermann	邦迪
Bonnett, Charles	博内
Boole, George	布尔
Bordet, Jules	博尔德
Borman, Frank	博尔曼
Born, Max	玻恩
Borrel, Amédée	博雷尔
Bose, Satyendranath	玻色
Bothe, Walter	博特
Bouchardat, Gustave	布沙尔达
Boucher de Perthes, Jacques	布歇·德·彼尔特
Boule, Marcelin	布尔
Boussard	布萨德
Boussinggault, Jean Baptiste	布林戈
Bouvard, Alexis	布瓦尔
Boveri, Theodor	博韦里
Bovet, Daniel	博韦
Bowen, Edward George	E.G.鲍恩
Bowen, Ira Sprague	I.S.鲍恩
Boyd, William Clouser	博伊德
Boyle, Robert	波义耳
Boylston, Zabdiel	博伊尔斯顿
Braconnot, Henri	布拉孔诺
Bradley, James	布拉德莱
Brady, Matthew	布雷迪
Bragg, William Henry	W.H.布喇格
Bragg, William Lawrence	W.L.布喇格

Brahe, Tycho	第谷
Braid, James	布雷德
Brand, Erwin	布兰德
Brandenberger, Jacques Edwin	布兰登伯热
Branley, Edouard	布冉利
Brattain, Walter Houser	布喇顿
Braun, Karl Ferdinand	K.F.布劳恩
Braun, Werner von	冯·布劳恩
Brearley, Harry	布里尔利
Breuer, Josef	布罗伊尔
Breuil, Henri Edouard Prosper	步日耶
Bridgman, Percy Williams	布里奇曼
Briggs, Henry	H.布里格斯
Briggs, Robert William	R.W.布里格斯
Brill, Rudolf	布里尔
Broca, Pierre Paul	白洛嘉
Broglie, Louis Victor de	德布罗意
Broom, Robert	布罗姆
Brown, Robert(astronomer)	布朗(天文学家)
Brown, Robert(botanist)	布朗(植物学家)
Brunhes, Bernard	布吕纳
Bruno, Giordano	布鲁诺
Brush, Charles Francis	布拉什
Bryan, William Jennings	布赖恩
Buchner, Eduard	毕希纳
Buffon, Georges Louis Leclerc de	布丰
Buist, John Brown	布伊斯特

Bullen, Keith Edward	布伦
Bunsens, Robert Wilhelm	本生
Burbank, Luther	伯班克
Burke, Bernard	伯克
Burnet, MacFarlane	伯内特
Burt, Cyril Lodowic	伯特
Bury, C.R.	布里
Bush, Vannevar	布什
Butenandt, Adolf	布特南特
Byrd, Richard Evelyn	伯德

C

Cabrera, Blas	卡伯雷拉
Cagniard de la Tour, Charles	卡格尼亚尔·德拉图尔
Cailletet, Louis Paul	凯泰
Callinicus	卡利尼库斯
Calvin, Melvin	卡尔文
Canaan	迦南
Candolle, Augustin Pyramus de	康多尔
Cannizzaro, Stanislao	坎尼扎罗
Cannon, Annie J.	A.J.坎农
Cannon, Walter Bradford	W.B.坎农
Canton, John	康顿
Capek, Karel	恰彼克
Capp, Al	卡普
Capra, J.Donald	卡普拉
Cardano, Geronimo	卡尔达诺

Carlson, Chester	卡尔森
Carnot, Nicolas Léonard Sadi	卡诺
Carothers, Wallace Hume	卡罗瑟斯
Carpenter, Roland L.	卡彭特
Carrel, Alexis	卡雷尔
Carrier, Willis Haviland	卡里尔
Carrington, Richard Christopher	卡林顿
Carson, Rachel Louise	卡森
Cartier, Jacques	卡蒂埃
Caspersson, Torbjörn	卡斯珀松
Cassini, Jacques	J.卡西尼
Cassini, Jean Dominique	J.D.卡西尼
Cassiodorus, Flavius	卡西奥多鲁斯
Castle, William Bosworth	卡斯尔
Cavendish, Henry	卡文迪什
Caventou, Joseph Bienaimé	卡芳拉
Cayley, George	凯莱
Celsius, Anders	摄尔西乌斯
Chadwick, James	查德威克
Chaffee, Roger	查菲
Chain, Ernst Boris	钱恩
Chamberlain, Owen	张伯伦
Chamberlain, Thomas Chrowder	钱柏林
Champollion, Jean François	商博良
Chance, Britton	钱斯
Chandrasekhar, Subrahmanyan	张德拉塞卡
Chapman, Sydney	查普曼

Chardonnet, Hilaire B. de	夏尔多内
Chargaff, Erwin	查加夫
Charles Ⅱ(King)	查理二世
Charles, Jacques Alexandre César	查理
Charpentier, Johann von	夏彭蒂耶
Cherenkov, Paul Alekseyevich	切伦科夫
Chevreul, Michel Eugène	谢夫勒尔
Chiu, Hong-Yee	邱洪宜(音译)
Christison, Robert	克里斯蒂森
Christofilos, Nicholas	克里斯托菲洛斯
Christy, James W.	克里斯蒂
Churchill, Winston	丘吉尔
Clairault, Alexis Claude	克来罗
Clark, Alvan	A.克拉克
Clark, Wilfrid LeGros	W.L.G.克拉克
Clarke, Arthur C.	A.C.克拉克
Claude, Georges	克洛德
Clausius, Rudolf Julius Emmanuel	克劳修斯
Clementi, Enrico	克莱门蒂
Clerk, Dugald	D.克拉克
Clynes, Manfred	克莱因斯
Coblentz, William Weber	柯布伦茨
Cockcroft, John Douglas	科克罗夫特
Code, Arthur Dodd	科德
Cohen, B.	B.科恩
Cohn, Edwin Joseph	E.J.科恩
Cohn, Ferdinand Julius	F.J.科恩

Coleridge, Samuel Taylor	柯尔律治
Collins, Samuel Cornette	柯林斯
Colt, Samuel	科尔特
Columbus, Christopher	哥伦布
Compton, Arthur Holly	康普顿
Conant, James Bryant	科南特
Congreve, William	康格里夫
Cook, Captain James	J.库克
Cook, Newell C.	N.C.库克
Coolidge, William David	库利吉
Cooper, Peter	库柏
Copernicus, Nicolaus	哥白尼
Copp, D. Harold	柯普
Corbet, Ruth Elizabeth	科比特
Corey, Robert Brainard	R.B.科里
Cori, Carl Ferdinand	C.F.科里
Cori, Gerty Theresa	G.T.科里
Coriolis, Gaspard Gustave de	科里奥利
Correns, Karl Erich	科伦斯
Corson, Dale Raymond	科森
Coryell, Charles DuBois	科里尔
Coster, Dirk	科斯特
Cotton, Gardner Quincy	科顿
Coulomb, Charles Augustin de	库仑
Couper, Archibald Scott	库珀
Cousteau, Jacques-Ives	库斯托
Cowan, Clyde Lorrain	考恩

Crafts, James Mason	克拉夫茨
Craig, Lyman Creighton	克雷格
Cranston, John Arnold	克兰斯顿
Crewe, A' bert Victor	克鲁
Crick, Francis Harry Compton	克里克
Cromwell, Townsend	克伦威尔
Cronin, James Watson	克罗宁
Crookes, William	克鲁克斯
Cross, Charles Frederick	克罗斯
Cullen, William	卡伦
Curie, Jacques	雅克·居里
Curie, Marie Sklodowska	居里夫人(斯可罗多夫斯卡)
Curie, Pierre	皮埃尔·居里
Curtis, Heber Doust	柯蒂斯
Cuvier, Georges Léopold	居维叶
Cyrano de Bergerac	西拉诺·德·贝热拉

D

Daguerre, Louis Jacques Mande	达盖尔
Daimler, Gottlieb	戴姆勒
Dale, Henry	戴尔
Dalton, John	道尔顿
Dam, Carl Peter Henrik	达姆
Dandolo, Enrico	丹多洛
Dante Alighieri	但丁
Danysz, Marian	丹尼兹
Darby, Abraham	达比

D'Arrest, Heinrich Ludwig	迪阿雷斯特
Darrow, Clarence	达罗
Dart, Raymond	达特
Darwin, Charles Robert	C.R.达尔文
Darwin, George Howard	G.H.达尔文
Daubrée, Gabriel Auguste	多布雷
Davaine, Casimir Joseph	达芬
Da Vinci, Leonardo	列奥纳多·达·芬奇
Davis, Marguerite	M.戴维斯
Davis, Raymond R.	R.R.戴维斯
Davisson, Clinton Joseph	戴维孙
Davy, Humphry	戴维
Dawson, Charles	道森
Debierne, André Louis	戴柏伦
De Brogie, Louis Victor	德布罗意
Debye, Peter Joseph Wilhelm	德拜
DeForest, Lee	德福雷斯特
Delgado, José Manuel Rodriguez	德尔加多
Delporte, Eugène	德尔波特
Dement, William	德门特
Democritus	德谟克利特
Dempster, Arthur Jeffrey	登普斯特
Desaguliers, John Théophile	德萨居利埃
Descartes, Rene	笛卡儿
Destriau, Georges	德斯特劳
Deutsch, Martin	多伊奇
Devol, Jr., George C.	小德沃尔

De Vries, Hugo	德弗里斯
Dewar, James	迪尤尔
D' Hérelle, Félix Hubert	德爱莱尔
Dicke, Robert Henry	迪克
Diebold, John	迪博尔德
Diels, Otto	狄尔斯
Diener, T.O.	迪纳尔
Diesel, Rudiolf	狄塞耳
Dietz, Robert S.	迪茨
Dirac, Paul Adrien Maurice	狄喇克
Disraeli, Benjamin	迪斯累里
Döbereiner, Johann Wolfgang	德贝赖纳
Dobzhansky, Theodosius	多布赞斯基
Doering, William von Eggers	多林
Doisy, Edward	多伊西
Dole, Stephen H.	多尔
Dollfus, Audouin	多尔夫
Dollond, John	多朗德
Domagk, Gerhard	多马克
Donath, William Frederick	多纳思
Donn, William L.	唐
Doppler, Christian Johann	多普勒
Dorfman, D.D.	多尔夫曼
Dorn, Friedrich Ernst	多恩
Doty, Paul Mead	多蒂
Douglass, Andrew Ellicott	道格拉斯
Down, John Langdon Haydon	唐恩

Drake, Edwin Laurentine	E.L.德雷克
Drake, Frank Donald	F.D.德雷克
Drebbel, Cornelis	德雷贝尔
Drummond, Jack Cecil	德拉蒙德
Dubois, Marie E.F.T.	迪布瓦
Du Bois-Reymond, Emil	杜布瓦-雷蒙
Dubos, René Jules	迪博
Du Fay, Charles F. de C.	迪费
Duggar, Benjamin Minge	达格尔
Dumas, Jean Baptiste André	杜马
Dunning, John Ray	邓宁
Du Pouy, Gaston	迪普伊
Dutrochet, René Joachim Henri	迪特罗谢
Dutton, Clarence Edward	达顿
Dyce, Rolf Buchanan	戴斯

E

Eastman, George	伊斯曼
Eccles, John Carew	埃克尔斯
Eckert, John Presper	埃克特
Eddington, Arthur Stanley	爱丁顿
Eddy, John A.	埃迪
Edelman, Gerald Maurice	埃德尔曼
Edison, Thomas Alva	爱迪生
Edman, Pehr	埃德曼
Edward Ⅶ(King)	爱德华七世
Ehrlich, Paul	P.埃尔利希

Ehrlich, Paul R.	P.R.埃尔利希
Eijkman, Christiaan	艾克曼
Einstein, Albert	爱因斯坦
Einthoven, Willem	埃因托芬
Elrord, William Joseph	埃耳福德
Elizabeth I (Queen)	伊丽莎白一世
Ellerman, Wilhelm	埃勒曼
Elliot, James L.	埃利奥特
Elsasser, Walter Maurice	埃尔萨塞
Elvehjem, Conrad Arnold	埃尔维耶姆
Emiliani, Cesare	埃米里亚尼
Empedocles	恩培多克勒
Enders, John Franklin	恩德斯
Engelberger, Joseph F.	恩格尔伯格
Epicurus	伊壁鸠鲁
Erasistratus	埃拉西斯特拉图斯
Eratosthenes	埃拉托色尼
Erlanger, Joseph	厄兰格
Euclid	欧几里得
Euler, Ulf Svante von	奥伊勒-克尔平
Euler-Chelpin, Hans K.A.S. von	奥伊勒-凯尔平
Evans, Arthur John	伊文思
Evans, Herbert McLean	埃文斯
Eve	夏娃
Evenson, Kenneth M.	埃文森
Ewen, Harold Irving	尤恩
Ewing, William Maurice	尤因

Eysenck, Hans J.	艾森克

F

Fabricius, David	D.法布里齐乌斯
Fabricius, Hieronymus	H.法布里齐乌斯
Fabry, Charles	法布里
Fahrenheit, Gabriel Daniel	华伦海特
Faraday, Michael	法拉第
Farcot, Léon	法尔科
Feinberg, Gerald	范伯格
Feokstistov, Konstantin P.	费奥克季斯托夫
Ferdinand Ⅱ(Grand Duke)	斐迪南二世
Fermi, Enrico	费密
Fernel, Jean	费尔奈尔
Fessenden, Reginald Aubrey	费森登
Feulgen, Robert	福尔根
Feynman, Richard Phillips	费因曼
Fick, Adolf Eugen	费克
Field, Cyrus West	菲尔德
Findlay, George William Marshall	芬德利
Finsen, Niels Ryberg	芬森
Fischer, Emil	E.费歇尔
Fischer, Hans	H.费歇尔
Fisher, Ronald Aylmer	费希尔
Fitch, John	J.菲奇
Fitch, Val Logsden	V.L.菲奇
FitzGerald, George F.	斐兹杰惹

Fizeau, Armand H. L.	斐索
Flamsteed, John	弗拉姆斯蒂德
Fleming, Alexander	弗莱明
Fleming, John Ambrose	夫累铭
Flemming, Walther	弗勒明
Flerov, Georgii Nikolaevich	弗勒罗夫
Flexner, Josepha Barbara	J.B.弗莱克斯纳
Flexner, Louis Barkhouse	L.B.弗莱克斯纳
Florey, Howard Walter	弗洛里
Fluorens, Marie Jean Pierre	弗卢朗
Folkers, Karl August	K.A.福克斯
Fontenelle, Bernard Le Bovier de	丰特奈尔
Forbes Jr., Edward	小福布斯
Ford, Henry	福特
Foucault, Jean Bernard Léon	傅科
Fourier, Jean Baptiste Joseph	傅里叶
Fowler, Ralph Howard	福勒
Fox, Sidney Walter	S.W.福克斯
Fracastoro, Girolamo	弗拉卡斯托罗
Fraenkel-Conrat, Heinz	弗伦克尔-康拉特
Francis Joseph I (Emperor)	弗兰西斯·约瑟夫一世
Franck, James	J.夫兰克
Frank, Ilya Mikhailovich	I.M.夫兰克
Frankland, Edward	弗兰克兰
Franklin, Benjamin	B.富兰克林
Franklin, John	J.富兰克林
Franklin, Konneth Linn	K.L.富兰克林

Franklin, Rosalind Elsie	R.E.富兰克林
Fraunhofer, Joseph von	夫琅和费
Frere, John	弗里尔
Fresnel, Augustin Jean	菲涅耳
Freud, Sigmund	弗洛伊德
Fridericia, L.S.	弗里德里夏
Friedel, Charles	弗里德
Friedman, Herbert	H.费里德曼
Friedmann, Alexander Alexandrovich	A.A.弗里德曼
Frisch, Karl von	K.弗里施
Frisch, Otto Robert	O.R.弗里施
Fritsch, Gustav	弗里茨
Fruton, Joseph Stewart	弗鲁顿
Fuchs, Vivian Ernest	富克斯
Fukui, Saburo	福井三郎
Fulton, Robert	富尔敦
Funk, Casimir	冯克

G

Gabor, Dennis	伽柏
Gadolin, Johan	加多林
Gagarin, Yuri Alexeyevich	加加林
Gahn, Johann Gottlieb	甘恩
Galen	加伦
Galileo Galilei	伽利略
Gall, Franz Joseph	加尔
Galle, Johann Gottfried	伽勒

Galois, Evariste	伽罗瓦
Galton, Francis	高尔顿
Galvani, Luigi	伽伐尼
Gama, Vasco da	伽马
Gamow, George	伽莫夫
Ganswindt, Hermann	赫尔曼·甘斯温特
Gardner, Allen	A.加德纳
Gardner, Beatrice	B.加德纳
Garrod, Archibald Edward	加罗德
Gassendi, Pierre	伽桑狄
Gasser, Herbert Spencer	加塞
Gatling, Richard	加特林
Gauss, Johann Karl Friedrich	高斯
Gautier, Marthe	戈蒂埃
Gay-Lussac, Joseph Louis	盖-吕萨克
Geiger, Hans	盖革
Geissler, Heinrich	盖斯勒
Gell-Mann, Murray	盖耳曼
Germer, Lester Halbert	杰默
Gernsback, Hugo	根斯巴克
Ghiorso, Albert	吉尔索
Giauque, William Francis	吉奥克
Gibbs, Josiah Willard	吉布斯
Gilbert, Joseph Henry	吉尔伯特
Gilbert, William	吉伯
Gill, David	吉尔
Gillett, Fred	吉勒特

Glaser, Donald Arthur	格拉泽
Glashow, Sheldon Lee	格拉肖
Glendenin, L.E.	格伦丁宁
Glenn, John Herschel	格伦
Goddard, Robert Hutchings	戈达德
Godwin, Francis	戈德温
Goeppert-Mayer, Maria	梅耶夫人
Goethe, Johann Wolfgang von	歌德
Gold, Thomas	戈尔德
Goldberger, Joseph	戈德堡
Goldmark, Peter	戈德马克
Goldstein, Eugen	E.戈德斯坦
Goldstein, Richard M.	R.M.戈德斯坦
Golgi, Camillo	戈尔吉
Goodpasture, Ernest William	古德帕斯丘
Goodricke, John	古德里克
Goodyear, Charles	古德伊尔
Gordon, John B.	戈登
Gosse, Philip Henry	戈斯
Goudsmit, Samuel Abraham	古兹密特
Gould, Stephen Jay	古尔德
Goward, F.K.	高沃德
Graaf, Regnier de	R.格拉夫
Graebe, Karl	格雷贝
Graff, Samuel	S.格拉夫
Graham, Thomas	格雷姆
Gram, Hans Christian Joachim	革兰

Green, Howard	格林
Greenstein, Jesse Leonard	格林斯坦
Grew, Nehemiah	格鲁
Griffith, Fred	格里菲思
Grigniard, Victor	格利雅
Grijins, Gerrit	格里津斯
Grissom, Virgil I.	格里索姆
Grosseteste, Robert	格罗斯泰斯特
Groth, Wilhelm	格罗特
Grove, William	格罗夫
Guericke, Otto von	居里克
Guettard, Jean Etienne	盖塔
Guillaume, Charles Edouard	纪尧姆
Gurdon, John B.	格登
Gutenberg, Beno	古滕贝格
Gutenberg, Johann	谷登堡
Guth, Alan	古思
Guyot, Arnold Henry	几岳

H

Haber, Fritz	哈伯
Hadfield, Robert Abbott	哈德菲尔德
Haeckel, Ernst Heinrich	海克尔
Hahn, Otto	哈恩
Halberg, Franz	哈尔伯格
Haldane, John Burdon Sanderson	霍尔丹
Hale, George Ellery	海耳

Hales, Stephen	黑耳斯
Hall, Angelina Stickney	斯蒂克尼
Hall, Asaph	A.霍尔
Hall, Charles Martin	C.M.霍尔
Hall, Marshall	M.霍尔
Haller, Albrecht von	哈勒
Halley, Edmund	哈雷
Halsted, William Stewart	霍尔斯特德
Ham	含
Ham, Johann	哈姆
Hampson, William	汉普森
Harden, Arthur	哈登
Hare, Robert	黑尔
Harkins, William Draper	W.D.哈金斯
Harris, Geoffrey W.	哈里斯
Harteck, Paul	哈特克
Hartmann, Johannes Franz	哈特曼
Hartwig, Ernst	哈维希
Harvey, William	哈维
Hata, Sahachiro	秦佐八郎
Hauksbee, Francis	霍克斯比
Hawking, Stephen	霍金
Haworth, Walter Norman	霍沃思
Hays, J.D.	海斯
Hazard, Cyril	哈泽德
Heaviside, Oliver	亥维赛
Heezen, Bruce Charles	希曾

Hefner-Alteneck, Friedrich von 黑夫纳-阿尔特纳克
Heisenberg, Werner 海森伯
Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von 亥姆霍兹
Hench, Philip SHowalter 亨奇
Hencke, Karl L. 亨克
Henderson, Thomas 亨德森
Henry, Joseph 亨利
Henseleit, K. 亨斯雷特
Heracleides 赫拉克利德斯
Herbig, George 赫比格
Hercules 赫剌克勒斯
Hero 海洛
Herodotus 希罗多德
Héroult, Paul Louis Toussaint 埃鲁
Herophilus 希罗菲卢斯
Herrick, James Bryan 赫里克
Herschel, John J.赫歇耳
Herschel, William W.赫歇耳
Hershey, Alfred Day 赫尔希
Hertz, Gustav Ludwig G.L.赫兹
Hertz, Heinrich Rudolf H.R.赫兹
Hertzsprung, Ejnar 赫茨普龙
Herzog, R.A. 赫佐格
Hess, Harry Hammond H.H.赫斯
Hess, Victor Francis V.F.赫斯
Hess, Walter Rudolf W.R.赫斯
Hevesy, Georg von 赫维西

Hewish, Anthony	休伊什
Heyl, Paul R.	海尔
Hill, Archibald Vivian	希尔
Hillary, Edmund Percival	希拉里
Hillier, James	希利尔
Hipparchus	喜帕恰斯
Hippocrates	希波克拉底
Hitler, Adolf	希特勒
Hitzig, Eduard	希齐格
Hoagland, Mahlon Bush	霍格兰
Hodgkin, Alan Lloyd	A.L.霍奇金
Hodgkin, Dorothy Crowfoot	D.C.霍奇金
Hodson, G.W.	霍德森
Hofmann, Robert	A.霍夫曼
Hofmann, August Wilhelm	A.W.霍夫曼
Hofmeister, Wilhelm F.B.	霍夫迈斯特
Hofstadter, Robert	霍夫斯塔特
Hohenheim, Theophrastus B. von	霍恩海姆
Hollerith, Herman	霍勒里思
Holley, Robert William	霍利
Holloway, M.G.	霍洛韦
Holm, E.	霍尔姆
Holmes, Harry Nicholls	H.N.霍姆斯
Holmes, Oliver Wendell	O.W.霍姆斯
Homer	荷马
Hooft, Gerard' t	胡夫特
Hooke, Robert	R.胡克

Hooker, John B.	J.B.胡克
Hoover, Herbert	胡佛
Hopkins, Frederick G.	霍普金斯
Hoppe-Seyler, Felix	霍佩-赛勒
Houssay, Bernardo Alberto	奥赛
Hoyle, Fred	霍伊尔
Hubble, Edwin Powell	哈勃
Hudson, Henry	哈得孙
Huggins, William	W.哈金斯
Hughes, Vernon Willard	休斯
Humason, Milton La Salle	哈马逊
Humboldt, Alexander von	洪堡
Hunter, William	亨特
Hutton, James	赫顿
Huxley, Andrew Fielding	A.F.赫胥黎
Huxley, Julian Sorrell	J.S.赫胥黎
Huxley, Thomas Henry	T.H.赫胥黎
Huygens, Christiaan	惠更斯
Hyatt, John Wesley	海厄特
Hyden, Holger	海登

I

Ichikawa, K.	市川
Ikhnaton	埃赫那顿
Imbrie, John	英布里
Ingenhousz, Jan	因根豪茨
Ingram, Vernon Martin	英格拉姆

Joliot-Curie, Irène	I.约里奥-居里
Joule, James Prescott	焦耳
Joyce, James	乔埃斯
Junkers, Hugo	容克

K

Kamen, Martin David	卡门
Kant, Immanuel	康德
Kapitza, Peter Leonidovich	卡皮察
Kapteyn, Jacobus Cornelis	卡普坦
Karrer, Paul	卡勒
Kasper, Jerome V.V.	卡斯帕
Katchalski, E.	卡查斯基
Kauffman, Walter	考夫曼
Keeler, James Edward	J.E.基勒
Keeler, Leonard	L.基勒
Keesom, A.P.	A.P.凯索姆
Kessom, Willem Hendrik	W.H.凯索姆
Keilin, David	基林
Kekulé von Stradonitz, Friedrich	凯库勒
Kelvin, William Thomson, Lord	开尔文勋爵(W.汤姆孙)
Kendall, Edward Calvin	肯德尔
Kendrew, John Cowdery	肯德鲁
Kennedy, Joseph William	肯尼迪
Kennelly, Arthur Edwin	肯涅利
Kepler, Johannes	开普勒
Kerst, Donald William	克斯特

Kettering, Charles Franklin	凯特林
Key, Francis Scott	弗朗西斯·司各特·基
Khorana, Har Gobind	科拉纳
Khrushchev, Nikita	赫鲁晓夫
Kiliani, Heinrich	基利阿尼
King, Charles Glen	C.G.金
King, Thomas J.	T.J.金
Kipling, Rudyard	吉卜林
Kipping, Frederic Stanley	基平
Kircher, Athanasius	基歇尔
Kirchhoff, Gottlieb Sigismund	克希霍夫
Kirchhoff, Gustav Robert	基尔霍夫
Kirkwood, Daniel	柯克伍德
Klaproth, Martin Heinrich	克拉普罗特
Klebs, Edwin	克莱布斯
Kleist Ewald George von	克莱斯特
Knoll, Max	诺尔
Knoop, Franz	努普
Koch, Robert	科赫
Kocher, Emil Theodor	科赫尔
Koenigswald, Gustav H.R. von	凯尼格斯沃尔德
Köhler, Wolfgang	克勒
Kohman, Truman Paul	科曼
Kohoutek, Lajos	科胡特克
Kolbe, Adolph Wilhelm Hermann	科尔贝
Koller, Carl	科勒
Komarov, Vladimir M.	科马罗夫

Korff, Serge	科夫
Kornberg, Arthur	科恩伯格
Kossel, Albrecht	科塞尔
Kowal, Charles T.	科瓦尔
Kozyrev, Nikolai Alexandrovich	科兹列夫
Krebs, Hans Adolf	克雷布斯
Kruse, Walther	克鲁泽
Kuhn, Richard	R.库恩
Kühne, Wilhelm	W.库恩
Kuiper, Gerard P.	柯伊伯
Kurchatov, Igor Vasilievich	库尔恰托夫
Kurti, Nicholas	库提
Kylstra, Johannes A.	凯尔斯特拉

L

Laenneck, Rene T.H.	雷奈克
Lafayette, Marquis de	拉斐德
Lagrange, Joseph Louis	拉格朗日
Lamarck, Jean Baptiste de	拉马克
Lamont, Johann von	拉蒙特
Lampland, Carl Otto	兰普兰德
Land, Edwin Herbert	兰德
Landau, Lev Davidovich	朗道
Landsteiner, Karl	兰德施泰纳
Langerhans, Paul	朗格尔汉斯
Langevin, Paul	朗之万
Langley, John Newport	J.N.兰利

Langley, Samuel Pierpont	S.P.兰利
Langmuir, Irving	朗缪尔
Langsdorf, Alexander	朗斯多夫
Lankard, John R.	兰卡德
Laplace, Pierre Simon de	拉普拉斯
Larsen, John Augustus	拉森
Lartet, Edouard Armand	拉尔泰
Lassell, William	拉塞尔
Laue, Max Theodore Felix von	劳厄
Laveran, Charles Louis	拉韦朗
Lavoisier, Antoine Laurent	拉瓦锡
Lawes, John Bennett	J.B.劳斯
Lawrence, Ernest O.	劳伦斯
Lazear, Jesse William	拉齐尔
Leakey, Louis Seymour Burnett	L.S.B.利基
Leakey, Mary	M.利基
Leavitt, Henrietta Swan	勒维特
Lebedev, Peter Nicolaevich	列别捷夫
Le Bel, Joseph Achille	勒贝尔
Le Canu, L.R.	勒卡努
Lecoq de Boisbaudran, Paul Emile	勒科克·德·布瓦博德朗
Lederberg Joshua	莱德伯格
Lee, Edmund	李
Lee, Tsung Dao	李政道
Leeuwenhock, Anton van	列文虎克
Lehmann, Inge	莱曼
Leibnitz, Gottfried Wilhelm von	莱布尼兹

Leith, Emmet N.	利思
Lejeune, Jérôme Jean	勒热纳
Lemaître, Georges	勒梅特
Lemonnier, Pierre Charles	勒莫尼埃
Lenard, Philipp	P.勒纳
Lenoir, Etienne	勒努瓦
Leonardo of Pisa	莱奥纳尔多(比萨的)
Leonov, Aleksei A.	列昂诺夫
Leopold (Prince)	利奥波德(王子)
Lerner, Richard A.	R.A.勒纳
Lettvin Jerome	莱特温
Leucippus	留基伯
Levene, Phoebus Aaron Theodore	列文
Leverrier, Urbain Jean Joseph	勒威耶
Lewis, G. Edward	刘易斯
Lewis, Gilbert Newton	路易斯
Ley, Willy	威利·莱
Li, Cho Hao	李卓浩
Libby, Willard Frank	利比
Liebig, Justus von	李比希
Lilienthal, Otto	利林塔尔
Lilly, John C.	利利
Lincoln, Abraham	林肯
Lind, James	J.林德
Lindbergh, Charles Augustus	林白
Lindbergh, Jon	林德伯格
Linde, Karl von	K.林德

Linnaeus, Carolus	林奈
Lipmann, Fritz Albert	F.A.李普曼
Lippershey, Hans	利珀希
Lippmann, Gabriel	G.李普曼
Lister, Joseph	利斯特
Lister, Joseph Jackson	利斯忒
Locke, Richard Adams	洛克
Lockyer, Norman	洛基尔
Lodge, Oliver Joseph	洛奇
Loewi, Otto	勒韦
Löffler, Friedrich August Johannes	勒夫勒
Lohmann, Karl Heinrich Adolf	勒曼
Lomonosov, Mikhail Vasillievich	罗蒙诺索夫
London, Heinz	伦敦
Long, Crawford Williamson	朗
Lorentz, Hendrik Antoon	H.A.洛伦兹
Lorenz, Konard Zacharias	K.Z.洛伦茨
Lorin, René	洛林
Louis XV(King)	路易十五
Love, Augustus Edward Hough	洛夫
Lovell, Bernard	洛维耳
Lowell, Percival	洛威尔
Lucian of Samosata	卢奇安
Lucretius	卢克莱修
Lunge, George	隆哥
Luther, Martin	马丁·路德
Lwoff, André Michael	利沃夫

Lyell, Charles	赖尔
Lynen, Feodor	吕南
Lyons, Harold	莱昂斯
Lyot, Bernard Ferdinand	李奥
Lysenko, Trofim Denisovich	李森科
Lyttleton, R.A.	利特尔顿

M

Mach, Ernst	马赫
Macintosh, Charles	麦金托什
Mackenzie, Kenneth Ross	麦肯齐
Macleod, Colin Munro	C.M.麦克劳德
Macleod, John James Richard	J.J.R.麦克劳德
Macquer, Pierre Joseph	麦夸尔
Maffei, Paolo	马费伊
Magellan, Ferdinand	麦哲伦
Magendie, François	马让迪
Maiman, Theodore Harold	梅曼
Malpighi, Marcello	马尔皮基
Malthus, Thomas Robert	马尔萨斯
Malus, Etienne Louis	马吕
Mann, Thaddeus Robert Rudolph	曼
Manson, Patrick	曼森
Marconi, Guglielmo	马可尼
Marcus, Aurelius	马可·奥勒利乌斯
Marduk	马尔杜克
Marine, David	马林

Mariner, Ruth	马里纳
Marinsky, J.A.	马林斯基
Marius, Simon	马里厄斯
Martin, Archer John Porter	马丁
Matthei, J. Heinrich	马太
Mauchley, John William	莫奇利
Maunder, Edward Walter	蒙德
Maurice(Prince)	莫里斯(王子)
Maury, Anotonia C.	A.C.莫里
Maury, Matthew Fontaine	M.F.莫里
Maxim, Hiram Stevens	马克沁
Maxwell, James Clerk	麦克斯韦
Mayer, Cornell H.	C.H.迈耶
Mayer, Jean	J.迈耶
Mayer, Julius Robert	J.R.梅耶
Maynard, J.Parkers	梅纳德
Mayr, Ernst Walter	迈尔
McCarthy, John	麦卡锡
McCarty, Maclyn	麦卡蒂
McClintock, Barbara	麦克林托克
McCollum, Elmer Vernon	麦科勒姆
McCoy, Herbert Newby	麦科伊
McMillan, Edwin Mattison	麦克米伦
Mechnickov, Ilya Ilitch	梅奇尼科夫
Medawar, Peter	梅达沃
Meissner, Walther	迈斯纳
Meister, Joseph	迈斯特

Meitner, Lise	迈特纳
Melotte, P.J.	梅洛特
Ménard, Louis Nicolas	梅纳尔
Mendel, Gregor Johann	孟德尔
Mendel, Lafayette Benedict	门德尔
Mendeléev, Dmitri Ivanovich	门捷列夫
Menghini, Vincenzo Antonio	门基尼
Menten, Maud Lenora	门滕
Menzel, Donald Howard	门泽尔
Mering, Joseph von	梅灵
Merrifield, Robert Bruce	梅里菲尔德
Mersenne, Marin	梅森
Mesmer, Franz Anton	梅斯梅尔
Messier, Charles	梅西耶
Meyer, Julius Lothar	迈耶尔
Meyer, Viktor	迈尔
Meyerhof, Otto Fritz	迈尔霍夫
Michaelis, Leonor	米歇里斯
Michell, John	米歇尔
Michelson, Albert Abraham	迈克耳孙
Midgely, Thomas	米奇利
Miescher, Friedrich	米舍尔
Milankovich, Milutin	米兰科维奇
Miller, Jacques F.A.P.	J.F.A.P.米勒
Miller, Neal Elgar	N.E.米勒
Miller, Stanley Lloyd	S.L.米勒
Millikan, Robert Andrews	密立根

Milne, John	米尔恩
Minkowski, Hermann	H.明科夫斯基
Minkowski, Oscar	O.明科夫斯基
Minkowski, Rudolf	闵科夫斯基
Minos	弥诺斯
Minot, George Richards	迈诺特
Mirsky, Alfred Ezra	米尔斯基
Miyamoto, Shotaro	宫本小太郎
Mohl, Hugo von	莫尔
Mohorovicic, Andrija	莫霍洛维奇
Mohs, Friedrich	莫斯
Moissan, Ferdinand F.H.	穆瓦桑
Molchanoff, Pyotr A.	莫尔恰诺夫
Moller, Christian	莫勒
Mondino de Luzzi	蒙迪诺
Moniz, Antonio Egas	莫尼斯
Monod, Jacques Lucien	莫诺
Montagu, Lady Mary Wortley	蒙塔古
Montgolfier, Jacques Étienne	J.E.蒙戈尔费埃
Montgolfier, Joseph Michel	J.M.蒙戈尔费埃
Moore, Stanford	S.穆尔
Moore, Thomas	T.穆尔
Morgan, Thomas Hunt	摩尔根
Morgan, William Wilson	摩根
Morley, Edward Williams	莫利
Mörner, K.A.H.	默尔内尔
Morse, Samuel Finley Breese	莫尔斯

Morton, William Thomas Green	莫顿
Morveau, Louis Bernard Guyton de	摩尔佛
Mosander, Carl Gustav	莫桑德尔
Moseley, Henry G.J.	莫塞莱
Moses	摩西
Mössbauer, Rudolf Ludwig	穆斯堡尔
Moulton, Forest Ray	莫尔顿
Mueller, Erwin Wilhelm	E.W.米勒
Mulder, Gerardus Johnnes	穆尔德
Muller, Hermann Joseph	马勒
Müller, Johannes Peter	J.P.弥勒
Müller, Otto Frederik	O.F.弥勒
Müller, Paul	P.米勒
Murchison, Roderick Impey	麦奇生
Murdock, William	默多克
Murphy, William Parry	墨菲
Musschenbroek, Pieter van	穆申布鲁克

N

Nägeli, Karl Wilhelm von	内格里
Nansen, Fridtjof	南森
Napier, John	纳皮尔
Napoleon Ⅰ(Emperor)	拿破仑一世
Napoleon Ⅲ(Emperor)	拿破仑三世
Nathans, Daniel	内森斯
Natta, Giulio	纳塔
Nebuchadnezzar	尼布甲尼撒

Ne'eman, Yuval	尼埃曼
Nernst, Hermann Walther	能斯脱
Nestor	内斯特
Neumann, John von	诺伊曼
Newcomen, Thomas	纽科门
Newlands, John Alexander Reina	纽兰兹
Newton, Isaac	牛顿
Nicholas Ⅱ (Tsar)	尼古拉二世(沙皇)
Nicholas of Cusa	尼古拉斯(库萨的)
Nicholson, Seth B.	尼科尔森
Nicol, William	尼科耳
Nicolet, Marcel	尼柯列特
Nicolle, Charles	尼科尔
Niepce, Joseph Nicéphore	尼埃普斯
Nightingale, Florence	南丁格尔
Nilson, Lars Fredrik	尼尔森
Ninninger, Harvey Harlow	尼宁格
Nirenberg, Marshall Warren	尼伦伯格
Noah	挪亚
Nobel, Alfred Bernhard	诺贝尔
Noddack, Walter	诺达克
Norgay, Tenzing	诺盖
Norman, Robert	诺曼
Northrop, John Howard	诺思罗普

O

Oakley, Kenneth	奥克利

Oatley, C.W.	奥特利
Oberth, Hermann	奥伯特
Ochoa, Severo	奥乔亚
Odin	奥丁
Oersted, Hans Christian	奥斯特
Ohdake, S.	大岳
Ohm, Georg Simon	欧姆
Olber, Heinrich W.M.	奥伯斯
Oldham, Richard Dixon	奥尔德姆
Olds, James	J.奥尔兹
Olds, Ransom E.	R.E.奥尔兹
Oliphant, Marcus Lawrence Elwin	奥利芬特
Oliver, Bernard	奥利弗
O' Neill, Gerard Kitchen	奥尼尔
Onnes, Heike Kamerlingh	昂内斯
Oort, Jan	奥尔特
Oparin, Aleksandr Ivanovich	奥巴林
Oppenheimer, J.Robert	奥本海默
Oro, Juan	奥罗
Ostwald, Wilhelm	奥斯特瓦尔德
Otis, Elisha Graves	奥蒂斯
Otto, Nikolaus	奥托
Oughtred, William	奥特雷德
Owen, Richard	欧文

P

Palade, George Emil	帕拉德

Palmer, Nathaniel B.	帕默
Palmieri, Luigi	帕尔米里
Pandora	潘多拉
Paneth, Friedrich Adolf	帕内特
Papin, Denis	帕潘
Paracelsus	巴拉赛尔苏斯
Parker, Eugene Norman	帕克
Parkes, Alexander	帕克斯
Parmalee, D. D.	帕马利
Parsons, Charles Algernon	C. A. 帕森斯
Pascal, Blaise	帕斯卡
Pasierb, Elaine	帕西尔柏
Pasteur, Louis	巴斯德
Pauli, Wolfgang	泡利
Pauling, Linus	泡令
Pavlov, Ivan Petrovich	巴甫洛夫
Payen, Anselme	帕扬
Payer, Julius	帕耶
Peary, Robert Edwin	皮里
Pedro II (Emperor)	佩德罗二世
Pekelharing, Cornelis Adrianis	帕克尔哈林
Pelletier, Pierre Joseph	佩尔蒂埃
Penfield, Wilder Graves	彭菲尔德
Penzias, Arno Allan	彭齐亚斯
Peregrinus, Peter	佩雷格里诺斯
Perey, Marguerite	佩雷
Pericles	伯里克利

Perier, Florin	斐利尔
Perkin, William Henry	珀金
Perkins, Jacob	珀金斯
Perl, Marin L.	珀尔
Perrier, Carlo	佩列尔
Perrin, Jean	皮兰
Perrine, Charles Dillon	珀赖因
Persoz, Jean François	佩索兹
Perutz, Max Ferdinand	佩鲁茨
Pestka, Sydney	佩斯特卡
Peter I (Tsar)	彼得大帝一世(沙皇)
Petri, Julius Richard	皮特里
Petrjak, K.A.	派垂克
Pettengill, Gordon H.	佩滕吉尔
Petterson, Hans	彼得森
Pfann, William Gardner	帕恩
Pfeffer, Wilhelm	普费弗尔
Phipps, James	菲普斯
Piazzi, Giuseppi	皮亚齐
Piccard, Auguste	A.皮卡德
Piccard, Jacques	J.皮卡德
Piccard, Jean Felix	J.F.皮卡德
Pickering, Edward Charles	E.C.皮克林
Pickering, William Henry	W.H.皮克林
Pictet, Raoul	皮克蒂
Pierce, John Robinson	皮尔斯
Pipkin, Marvin	皮普金

Pirie, Norman Wingate	皮里
Pitt-Rivers, Rosalind	皮特-里弗斯
Planck, Max K.E.L.	普朗克
Planté, Gaston	普朗泰
Plass, Gilbert N.	普拉斯
Plato	柏拉图
Platt, Hugh	普拉特
Pliny	普林尼
Pliny the Younger	小普林尼
Plotinus	普罗提诺
Pniewski, Jerzy	帕尼夫斯基
Pogson, Norman Robert	鲍格森
Polo, Marco	马可·波罗
Polyakov, Alexander	波利亚柯夫
Pomeranchuk, Isaak Yakovievich	波马伦库克
Ponnamperuma, Cyril	庞南佩鲁马
Pontecorvo, Bruno	庞蒂科沃
Pope, William Jackson	波普
Popov, Alexader Stepanovich	波波夫
Porta, Giambattista della	波尔塔
Posidonius	波西多留斯
Poulsen, Valdemar	浦耳生
Powell, Cecil Frank	C.F.鲍威尔
Powell, George	G.鲍威尔
Powers, John	鲍尔斯
Praxagoras	普拉哈高拉斯
Prebus, Albert F.	普雷布斯

Pregl, Fritz	普列格尔
Priam	普里阿摩斯
Priestley, Joseph	普里斯特利
Prochorov, Aleksandr Mikhailovich	普罗霍罗夫
Proust, Joseph Louis	普鲁斯特
Prout, William	蒲劳脱
Ptolemy	托勒玫
Ptolemy V (King)	托勒密五世
Pupin, Michael Idvorsky	浦品
Purcell, Edward Mills	珀塞尔
Purkinje, Jan Evangelista	普尔金耶
Pythagoras	毕达哥拉斯

R

Rabi, Isidor Isaac	拉比
Rabinowitch, Eugene I.	拉宾诺维奇
Rall, Theodore W.	W. 拉尔
Raman, Chandrasekhara Venkata	喇曼
Ramon, Gaston	拉蒙
Ramony Cajal, Santiago	拉蒙-卡哈尔
Ramsay, William	拉姆齐
Rankine, William John Macquorn	兰金
Ranson, Stephen Walter	兰森
Rasmussen, Howard	拉斯马森
Rasputin, Gregory	拉斯普廷
Rassam, Hurmuzd	拉萨姆
Rawlinson, Henry Creswicke	罗林森

Ray, John	雷
Rayleigh, John W. Strutt, Lord	瑞利勋爵
Reagan, Ronald	里根
Réaumur, René A. F. de	列奥米尔
Reber, Grote	雷伯
Redi, Francesco	雷迪
Reed, Walter	里德
Regiomontanus	雷乔蒙塔努斯
Regnault, Henri Victor	勒尼奥
Reichstein, Tadus	赖希施泰因
Reines, Frederick	莱因斯
Reinmuth, Karl	莱因莫斯
Remak, Robert	雷马克
Retzius, Anders Adolf	雷齐乌斯
Riccioli, Giovanni, Battista	里乔利
Richards, Theodore William	理查兹
Richardson, Owen Willans	里查孙
Richelieu, Duc de	黎塞留公爵
Richer, Jean	里奇
Richet, Charles Robert	里歇
Richter, Burton	B. 里克特
Richter, Charles Francis	C. F. 里克特
Ricketts, Howard Taylor	立克次
Ride, Sally	赖德
Ringer, Sidney	林格
Rittenberg, David	里顿伯格
Ritter, Johann Wilhelm	里特

Robbins, Frederick Chapman	罗宾斯
Robinson, Robert	罗宾森
Roche, Edouard	洛希
Roemer, Olaus	罗默
Roentgen, Wilhelm Konrad	伦琴
Roget, Peter Mark	罗热
Roosevelt, Frankling Delano	F.D.罗斯福
Rorchach, Hermann	罗尔沙赫
Rose, William Cumming	W.C.罗斯
Rosen, James M.	罗森
Rosenheim, Otto	罗森海姆
Ross, James Clark	J.C.罗斯
Ross, Ronald	R.罗斯
Ross, William Horace	W.H.罗斯
Rosse, William Parsons, Lord	罗斯勋爵(W.帕森斯)
Rossi, Bruno	罗西
Rous, Francis Peyton	F.P.劳斯
Rowland, Henry Augustus	罗兰
Ruark, Arthur Edward	鲁阿克
Ruben, Samuel	鲁宾
Rumford, Benjamin Thompson, (Count)	拉姆福德伯爵(B.汤普森)
Ruska, Ernst	鲁斯卡
Russell, Bertrand	B.罗素
Russell, Henry Norris	H.N.罗素
Rutherford, Daniel	拉瑟福德
Rutherford, Ernest	卢瑟福

Ruzicka, Leopold	卢齐卡
Ryle, Martin	赖尔

S

Sabatier, Paul	萨巴蒂埃
Sabin, Albert Bruce	萨宾
Sabine, Edward	赛宾
Sachs, Julius von	萨克斯
Sagan, Carl	萨根
Sager, Ruth	塞杰尔
Sainte-Claire Deville, Henri E.	圣克莱尔德维尔
Sakel, Manfred	萨克尔
Salam, Abdus	萨拉姆
Salk, Jonas Edward	索尔克
Sandage, Allen	桑德奇
Sanger, Frederick	桑格
Sarrett, Lewis H.	萨雷特
Saul	扫罗
Saussure, Nicholas Théodore de	索绪尔
Sautuola, Marquis de	绍图奥拉
Savery, Thomas	萨弗里
Savitch, P.	萨维奇
Schäberle, John Martin	沙伯勒
Schaefer, Vincent Joseph	V.J.谢弗
Schaffer, Frederick I.	F.I.谢弗
Scheele, Carl Wilhelm	舍勒
Scheiner, Christoph	席纳尔

Schiaparelli, Giovanni Virginio	斯基帕雷利
Schirra, Walter M.	希拉
Schleiden, Mathia Jacob	施莱登
Schlieman, Heinrich	谢里曼
Schmidt, Bernard	B.施密特
Schmidt, Maarten	M.施密特
Schoenheimer, Rudolf	舍恩海默
Schönbein, Christian Friedrich	舍恩拜因
Schrödinger, Erwin	薛定谔
Schrötter, Anton, Ritter von	施勒特尔
Schultze, Max Johann Sigismund	舒尔策
Schuster, P.	舒斯特
Schwabe, Heinrich Samuel	施瓦贝
Schwann, Theodor	施万
Schweigger, Johann S.C.	施魏格
Schwerdt, Carlton E.	施沃特
Schwinger, Julian	施温格
Scopes, John Thomas	斯科普斯
Scott, K.J.	K.J.斯科特
Scoot, Robert Falcon	R.F.斯科特
Seaborg, Glenn Theodore	西博格
Secchi, Petro Angelo	塞奇
Sedgwick, Adam	塞奇威克
Seebeck, Thomas Johann	塞贝克
Segrè, Emilio Gino	塞格雷
Semmelweiss, Ignaz Philipp	塞麦尔维斯
Senderens, Jean Baptiste	桑德仑

Seneca	塞涅卡
Seyfert, Carl	赛弗特
Shackleton, Ernest	E.沙克尔顿
Shackleton, N.J.	N.J.沙克尔顿
Shakespeare, William	莎士比亚
Shannon, Claude Elwood	香农
Shapiro, Irwin Ira	夏皮罗
Shapley, Harlow	沙普利
Sharpey-Schafer, Edward Albert	沙比-谢弗
Shaw, George Bernard	萧伯纳
Shawlow, Arthur L.	肖洛
Shemin, David	谢敏
Sherrington, Charles Scott	谢灵顿
Shimamura, T.	岛村
Shklovskii, I.S.	什克洛夫斯基
Shockley, William Bradford	肖克利
Siebe, Augustus	西贝
Siebold, Karl Theodore Ernst	西博尔德
Siegbahn, Karl Manne George	西格班
Siemens, Karl Wilhelm	西门子
Sikorsky, Igor Ivan	西科尔斯基
Silliman, Benjamin	西利曼
Simon, Theodore	西蒙
Simpson, James Young	辛普森
Sinsheimer, Robert Louis	辛希默
Slipher, Vesto Melvin	斯里弗
Slye, Maude	斯莱

Smith, Ernest Lester	E.L.史密斯
Smith, George	G.史密斯
Smith, Hamilton Othniel	H.O.史密斯
Smith, J.L.B.	J.L.B.史密斯
Smith, William(explorer)	W.史密斯(探险家)
Smith, William(geologist)	W.史密斯(地质学家)
Snell, Willebrord	斯涅耳
Sobel, Henry W.	索贝尔
Sobrero, Ascanio	索伯雷罗
Socrates	苏格拉底
Soddy, Frederick	索迪
Solomon	所罗门
Sommerfeld, Arnold Johannes Wilhelm	索末菲
Sophocles	索福克勒斯
Sorokin, Peter	索罗金
Spallanzani, Lazzaro	斯帕兰札尼
Speck, Richard	斯佩克
Spedding, Frank Harold	斯佩丁
Spencer, Herbert	斯宾塞
Sperry, Elmer Ambrose	斯佩里
Spiegelman, Sol	施皮格尔曼
Spinrad, Hyron	斯平拉德
Spitzer, Lyman	斯皮策
Stalin, Josef V.	斯大林
Stanley, Francis Edgar	F.E.斯坦利
Stanley, Wendell Meredith	W.M.斯坦利
Stapp, John Paul	斯塔普

Stark, Johannes	斯塔克
Starling, Ernest Henry	斯塔林
Stas, Jean Servais	史塔斯
Staudinger, Hermann	施陶丁格
Steele, Jack	斯蒂尔
Stefan, Josef	斯忒藩
Stein, William Howard	斯坦
Steinmetz, Charles Proteus	施泰因梅茨
Stelluti, Francesco	斯特鲁蒂
Stenhouse, John	斯坦豪斯
Steno, Nicolaus	斯蒂诺
Stephenson, George	斯蒂芬森
Stern, Otto	斯特恩
Stevens, Edward	史蒂文斯
Stevinus, Simon	斯蒂文
Stokes, George Gabriel	斯托克斯
Stoney, George Johnstone	斯托尼
Strassman, Fritz	斯特拉斯曼
Struve, Friedrich Wilhelm von	斯特鲁维
Sturgeon, William	斯特金
Sturtevant, Alfred Henry	斯特蒂文特
Sudarshan, Ennackal C.G.	苏达杉
Suess, Edward	E.休斯
Sumner, James Batcheller	萨姆纳
Sutherland Jr., Earl Wilbur	萨瑟兰
Sutton, Walter Stanborough	萨顿
Suzuki, Umetaro	铃木

Svedberg, Theodor	斯韦德贝里
Swallow, John Crossley	斯沃洛
Swammerdam, Jan	斯旺默丹
Swan, Joseph	斯旺
Swift, Jonathan	斯威夫特
Sylvester Ⅱ (Pope)	西尔维斯特二世
Synge, Richard L.M.	辛格
Szent-Györgyi, Albert	森特-哲尔吉
Szilard, Leo	齐拉特

T

Tacke, Ida	塔克
Tainter, Charles Sumner	泰恩特
Takaki, Kanehiro	高木兼宽
Takamine, Jokichi	高峰让吉
Talbot, William Henry Fox	塔尔博特
Tamm, Igor Yevgenevich	塔姆
Tartaglia, Niccolo	塔尔塔利亚
Tatum, Edward Lawrie	塔特姆
Tayler, Gordon	G.泰勒
Taylor, Elizabeth	E.泰勒
Taylor, Frederick Winslow	F.W.泰勒
Teisserenc de Bort, Leon Philippe	泰塞朗·德博尔
Teller, Edward	特勒
Tempel, Ernst Wilhelm	坦普尔
Tennant, Smithson	坦南特
Tereshkova, Valentina V.	捷列什科娃

Terman, Lewis Madison	特曼
Tesla, Nikola	特斯拉
Thales	泰勒斯
Theiler, Max	泰累尔
Theophrastus	泰奥弗拉斯托斯
Theorell, Hugo	泰奥雷尔
Thiele, Johnnes	悌勒
Thilorier, C.S.A.	狄劳里雅
Thomas, Sidney Gilchrist	托马斯
Thomsen, Christian Jurgenson	C.J.汤姆森
Thomson, Charles Wyville	C.W.汤姆森
Thomson, George Paget	G.P.汤姆孙
Thomson, Joseph John	J.J.汤姆孙
Thomson, Robert William	R.W.汤姆森
Thor	托尔
Ting, Samuel Chao Chung	丁肇中
Tiselius, Arne Wilhelm Kaurin	蒂塞利乌斯
Tissandier, Gaston	狄山迪尔
Titian	提香
Titov, Gherman Stepanovich	季托夫
Todd, Alexander Robertus	托德
Tombaugh, Clyde William	汤博
Tomonaga, Sin-itiro	朝永振一郎
Torricelli, Evangelista	托里拆利
Townes, Charlës Hard	汤斯
Trefouël, Jacques	特雷弗尤尔
Ts' ai Lun	蔡伦

Tschermak von Seysenegg, Erich	切尔马克·封·赛塞内格
Tsiolkovsky, Konstantin E.	齐奥尔科夫斯基
Tswett, Mikhail Semenovich	茨维特
Tupyy, Hans	塔皮
Ture, Merle A.	图雷
Turing, Alan Mathison	图灵
Turpin, Raymond	蒂尔潘
Twort, Frederick William	特沃特
Tyndall, John	廷德尔

U

Uhlenbeck, George Eugene	乌伦贝克
Upatnieks, Juris	厄帕尼斯
Urbain, Georges	欧本
Ure, Andrew	尤尔
Urey, Harold Clayton	尤里
Ussher, James	厄谢尔

V

Van Allen, James Alfred	范艾伦
Van Calcar, Jan Stevenzoon	范卡尔卡
Van de Graaf, Robert Jemison	范德格喇夫
Van de Hulst, Hendrik Christoffel	范得胡斯特
Van de Kamp, Peter	范德坎普
Van der Waals, Johannes Diderick	范德瓦耳斯
Van Helmont, Jan Baptista	范黑尔蒙特
Van Maanen, Adriaan	万玛伦

Van't Hoff, Jacobus Hendricus	范托夫
Vaucanson, Jacques de	沃康松
Veksler, Valadimir Iosifovich	维克斯勒
Venetz, Ignatz	维尼茨
Verne, Jules	凡尔纳
Vesalius, Andreas	维萨里
Vestris, Michael	维斯特里斯
Vicq d' Azyr, Felix	维克达居尔
Victoria (Queen)	维多利亚(女王)
Vigneaud, Vincent du	迪维尼奥
Villard, Paul Ulrich	维拉德
Viviani, Vincenzo	维维阿尼
Virchow, Rudolf	菲尔绍
Vogel, Hermann Carl	沃格尔
Volta, Alessandro	伏打
Voltaire	伏尔泰
Vonnegut, Bernard	范内格特
Voorhis, Arthur D.	沃勒斯

W

Wahl, Arthur Charles	A.C.沃尔
Waksman, Selman Abraham	瓦克斯曼
Wald, George	沃尔德
Waldeyer, Wilhelm von	瓦尔德尔
Wall, William	W.沃尔
Wallace, Alfred Russel	华莱士
Wallach, Otto	瓦拉赫

Wallich, George C.	沃利克
Walsh, Don	沃尔什
Walter, William Grey	沃尔特
Walton, Ernest Thomas Sinton	瓦耳顿
Warburg, Otto Heinrich	瓦尔堡
Washington, George	华盛顿
Wasserman, August von	瓦色曼
Watson, James Dewey	J.D.沃森
Watson, John Broadus	J.B.沃森
Watson-Watt, Robert Alexander	沃森-瓦特
Watt, James	瓦特
Weber, Joseph	韦伯
Webster, T.A.	韦伯斯特
Weddell, James	威德尔
Wegener, Alfred Lothar	魏格纳
Weinberg, Robert A.	R.A.温伯格
Weinberg, Steven	S.温伯格
Weiner, Joseph Sidney	维纳
Weismann, August Friedrich Leopold	魏斯曼
Weiss, Prierre	外斯
Weizsäcker, Carl Friedrich von	韦扎克
Weller, Thomas Huckle	韦勒
Welles, Orson	O.韦尔斯
Wells, Herbert George	威尔斯
Wells, Horace	H.韦尔斯
Wells, John West	J.W.韦尔斯
Welsbach, Karl Auer, Baron von	韦耳斯拔

Wendelin, Godefroy	温德林
Werner, Abraham Gottlob	维尔纳
Werner, Alfred	韦尔纳
Westall, R.G.	韦斯托尔
Westinghouse, George	威斯汀豪斯
Westphal, Carl Friedrich Otto	韦斯特法尔
Weyprecht, Carl	韦普雷希特
Weyssenhoff, H. von	威森霍夫
Wharton, Leonard	华顿
Wheatstone, Charles	惠斯通
Wheeler, John Archibald	惠勒
Whewell, William	休厄尔
Whipple, Fred Lawrence	F.L.惠普尔
Whipple, George Hoyt	G.H.惠普尔
White, Edward H.	怀特
Whitney, Eli	惠特尼
Whittaker, Robert Harding	惠塔克
Whittle, Frank	惠特尔
Wickramasinghe, Chandra	威克拉马辛吉
Wieland, Heinrich	维兰德
Wien, Wilhelm	维恩
Wiener, Norbert	维纳
Wigner, Eugene	维格纳
Wilberforce, Samuel	威尔伯福斯
Wildt, Rupert	维尔特
Wilhelm II (Kaiser)	威廉二世
Wilkes, Charles	威尔克斯

Wilkins, George Hubert	G. H. 威尔金斯
Wilkins, Maurice Hugh Frederick	M. H. F. 威尔金斯
Willcock, Edith Gertrude	威尔科克
Williams, Carroll Milton	C. M. 威廉斯
Williams, Robert Runnels	R. R. 威廉斯
Williams, Robley Cook	R. C. 威廉斯
Willis, Thomas	威利斯
Willstätter, Richard	威尔施泰特
Wilm, Alfred	威尔姆
Wilska, Alvar P.	威尔斯卡
Wilson, Alexander	威尔逊
Wilson, Charles Thomson Rees	C. T. R. 威耳孙
Wilson, Robert Woodrow	R. W. 威耳孙
Windaus, Adolf	温道斯
Winkler, Clemens Alexander	温克勒
Wislicenus, Johannes	维斯利采努斯
Witt, Gustav	维特
Woese, Carl R.	沃斯
Wöhler, Friedrich	维勒
Wolf, Maximilian F. J. C.	M. 沃尔夫
Wolf, Rudolf	R. 沃尔夫
Wolff, Kaspar Friedrich	K. F. 沃尔夫
Wolfgang, Richard Leopold	沃尔夫冈
Wollaston, William Hyde	渥拉斯顿
Woodward, Arthur Smith	A. S. 伍德沃德
Woodward, Robert Burns	R. B. 伍德沃德
Woolfson, M. M.	伍尔夫森

Ziegler, Karl	齐格勒
Zinn, Walter Henry	津恩
Zondek, Bernhard	宗代克
Zsigmondy, Richard Adolf	席格蒙迪
Zwicky, Fritz	兹威基
Zworykin, Vladimir Kosma	兹沃尔金

装帧设计　刘葶葶

阿西莫夫最新科学指南（下）

作为纯粹的生物体，人类很难与地球上占据任何特定生活环境的生物竞争。人类之所以能支配地球，是因为人类有一个相当重要的特化器官——脑子。

在探索宇宙的奥秘中，人类表现出不屈不挠的精神，他们以科学的方法为工具不断取得成效。凡是被此所强烈吸引的人，无不对科学的迅速发展感到激动和欢欣。



ISBN 7-214-02388-1
G·733　定价:(上、下)48.00元